



TUGAS AKHIR – SF 141501

**Rancang Bangun Sistem Kontrol Jarum
Spinneret dan Kolektor pada *Electrospinning***

**Lutfi Fitria Ningsih
NRP 01111440000028**

Dosen Pembimbing :
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – SF 141501

DESIGN OF SPINNERET NEEDLE AND COLLECTOR CONTROL SYSTEM FOR ELECTROSPINNING

**Lutfi Fitria Ningsih
NRP 01111440000028**

**Advisor :
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si**

**DEPARTEMENT PHYSICS
FACULTY OF NATURAL SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL JARUM
SPINNERET DAN KOLEKTOR PADA
ELECTROSPINNING

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah
Tugas Akhir
Program Strata 1

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

LUTFI FITRIA NINGSIH

01111440000028

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Diky Anggoro, M.Si (Pembimbing 1)
(NIP.19850809 201404 1 003)
2. Iim Fatimah, M.Si (Pembimbing 2)
(NIP.19870108 201504 2 002)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL JARUM
SPINNERET DAN KOLEKTOR PADA
ELECTROSPINNING**

Nama Mahasiswa : Lutfi Fitria Ningsih
NRP : 0111144000028
Departemen : Fisika FIA-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstrak

Teknologi nano telah banyak dikembangkan dalam dunia industri di Indonesia. Salah satu hasil teknologi nano yang banyak diaplikasikan dalam kehidupan yaitu *nanofiber*. *Nanofiber* banyak digunakan dalam beberapa bidang, diantaranya yaitu dalam bidang filtrasi air, energi, kesehatan dan lain-lain. Salah satu metode pembuatan *nanofiber* yang paling mudah dan murah yaitu dengan cara *electrospinning*. *Electrospinning* memanfaatkan sumber tegangan tinggi dalam pembuatan *nanofiber*. Parameter yang mempengaruhi diameter dan sebaran fiber diantaranya yaitu kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret* serta kecepatan rotasi kolektor. Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membuat sistem pengontrol gerak kolektor dan jarum *spinneret* pada *electrospinning*. Motor *stepper* dan *driver* A4988 digunakan untuk mengontrol kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret*. Motor DC 12V dan *driver* L293D digunakan untuk mengontrol arah dan kecepatan putar kolektor. Kontrol kecepatan kolektor menggunakan prinsip *Pulse Width Modulation* (PWM). Sistem kontrol yang telah dibuat mempunyai tingkat keakuratan lebih dari 95%. *Electrospinning* yang telah dibuat dapat digunakan untuk memproduksi *nanofiber*.

Kata Kunci : *Electrospinning, Nanofiber, Motor DC, Motor Stepper*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN OF *SPINNERET* NEDDLE AND COLLECTOR CONTROL SYSTEM FOR ELECTROSPINNING

Name : Lutfi Fitria Ningsih
NRP : 01111440000028
Department : Physics, Faculty of Natural Sciences, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember
Advisors : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

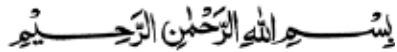
Abstract

Nanotechnology has been greatly developed in Indonesian Industrial Technology one of the example is the nanofiber. Nanofiber acts in several aspects of industries such as water filtration, energy and medical applications etc. one of the cheapest and easiest nanofiber extraction is electrospinning. Electrospinning uses the high DC voltage to generate the nanofiber. The affected parameters in nanofiber diameter and fiber spreading area are the speed and distance of spinneret also the rotation speed of the collector. This investigation aims to design and create the control system of spinneret needle and collector. The speed control and needle distance is performed by the A4988 and motor stepper. The DC 12V motor and L293D driver are used to control the direction and rotational speed of collector. The collector control speed is based on Pulse width modulation principle. This control system is proven to be have high accuracy with more than 95%. The constructed electrospinning can be used in nanofiber production.

Keywords : DC motor, Electrospinning, Nanofiber, Stepper motor

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya , petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Rancang Bangun Sistem Kontrol Jarum Spinneret dan Kolektor pada Electrospinning**” dengan optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Diky Anggoro, M.Si selaku Ketua Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi dan dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Iim Fatimah, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
3. Bapak dan Ibu tercinta, dan segenap keluarga yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga saat ini.
4. Partner Tugas Akhir Tri Ilma Sari dan Aditya Wicaksono yang selalu membantu dan memberikan saran dalam upaya penyelesaian Tugas Akhir ini.

5. Irma Septi Ardiani yang telah membantu dalam proses koreksi penulisan Tugas Akhir ini serta membantu dalam pembuatan PPT presentasi.
6. Penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi khususnya mas Badri, mas Tito, mas Asrofi, mas Yaka, mas Bkti, mas Rozaq, mbak Ira, Fauzy, Adi, Mursyid, Agung, Nilna, Alfu, Dila, yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Member Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi dan teman-teman ANTARES yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Member Penghuni Terakhir (Irma, Tanti, Masalahah, Otun, Mira, Firda) yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Polimer Fiber.....	7
2.2 <i>Electrospinning</i>	7
2.2.1 Sistem pengontrol kolektor.....	9
2.2.2 Sistem pengontrol jarum <i>spinneret</i>	13
2.3 Scanning Electron Microscope (SEM).....	14
BAB III.....	15

METODOLOGI.....	15
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Perancangan Umum.....	23
3.4 Perancangan Penurun Tegangan.....	24
3.5 Perancangan Sistem Kontrol Gerak Kolektor.....	25
3.6 Perancangan Sistem Kontrol Gerak Jarum <i>Spinneret</i>	25
3.7 Perancangan Sistem Display.....	26
3.8 Kalibrasi.....	26
3.9 Presisi.....	26
BAB IV.....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Karakterisasi Motor <i>Stepper</i>	29
4.2 Karakterisasi Motor DC 12V.....	30
4.3 Perancangan Sistem Penurun Tegangan.....	33
4.4 Perancangan Sistem Pengontrol Gerak Jarum <i>Spinneret</i>	33
4.6 Perancangan Sistem Pengontrol Gerak Kolektor	36
4.7 Kalibrasi	39
4.8 Presisi	41
4.9 Hasil Polimer Fiber	45
BAB V.....	47
KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	51
BIODATA PENULIS.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Electrospinning</i>	8
Gambar 2.2 Skematik IC L293D (Texas Instrument, 2016)	10
Gambar 2.3 Arah arus listrik, medan magnetic, dan gaya Lorentz(Iswandi P,2014)	11
Gambar 2.4 Prinsip motor DC berdasarkan gaya Lorentz.....	12
Gambar 2.5 Motor <i>Stepper</i> (<i>National Instrument</i> , 2014)	13
Gambar 3.1 Diagram Alir penelitian.....	15
Gambar 3.2 Komponen L293D	16
Gambar 3.3 Potensiometer	17
Gambar 3.4 Arduino Pro Mini.....	17
Gambar 3.5 Motor DC.....	18
Gambar 3.6 <i>Motor Stepper</i>	18
Gambar 3.7 Saklar	19
Gambar 3.8 A4988	19
Gambar 3.9 LCD 20x4	20
Gambar 3.10 Sumber tegangan tinggi	20
Gambar 3.11 <i>Tachometer</i>	21
Gambar 3. 12 Penggaris	21
Gambar 3.13 Jarum Suntik	22
Gambar 3.14 Jarum Suntik	22
Gambar 3.15 Larutan PVA (<i>Polyvinil Alcohol</i>)	22
Gambar 3.16 Skema alat <i>electrospinning</i>	23
Gambar 3.17 Blok diagram sistem pengontrol kolektor dan motor <i>stepper</i>	24
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara tegangan dan kecepatan putar.....	32
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara tegangan listrik dan kecepatan rotasi kolektor	32
Gambar 4.3 Bagian untuk setting sistem <i>electrospinning</i>	34
Gambar 4.4 Sistem keseluruhan <i>electrospinning</i>	34
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara jarak referensi dan jarak pengukuran	35
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara jarak referensi dan jarak	

pengukuran	35
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara nilai ADC dan kecepatan rotasi kolektor	37
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara kecepatan putar kolektor referensi dan pengukuran	38
Gambar 4.9 Grafik presisi jarak gerak jarum <i>spinneret</i>	42
Gambar 4.10 Grafik presisi kecepatan gerak jarum <i>spinneret</i>	43
Gambar 4.11 Grafik presisi kecepatan putar kolektor	44
Gambar 4.12 Polimer fiber hasil <i>electrospinning</i> dengan HV 10kV, konsentrasi 5%, dan jarak jarum <i>spinneret</i> ke kolektor 10 cm (perbesaran 20000 kali)	45
Gambar 4.13 Polimer fiber hasil <i>electrospinning</i> dengan HV 10kV, konsentrasi 10%, dan jarak jarum <i>spinneret</i> ke kolektor 10 cm (perbesaran 20000 kali)	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi pin pada L293D	10
Tabel 4.1 Hasil karakterisasi motor <i>stepper</i>	29
Tabel 4.2 Hasil uji kecepatan linier motor <i>stepper</i>	30
Tabel 4.3 Hasil uji kecepatan rotasi kolektor	31
Tabel 4.4 Hasil kalibrasi jarak gerak jarum <i>spinneret</i>	39
Tabel 4.5 Hasil kalibrasi kecepatan gerak jarum <i>spinneret</i>	40
Tabel 4.6 Hasil kalibrasi kecepatan putar kolektor	40
Tabel 4.7 Perhitungan presisi	41
Tabel 4.8 Hasil presisi jarak gerak jarum <i>spinneret</i>	42
Tabel 4.9 Hasil presisi kecepatan gerak jarum <i>spinneret</i>	43
Tabel 4.10 Hasil presisi kecepatan putar kolektor	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Percobaan	51
Lampiran 2. Perhitungan Ketidakpastian pengukuran kecepatan jarum <i>spinneret</i>	56
Lampiran 3. Skema Rangkaian Sistem Pengontrol	61
Lampiran 4. Koding Pemrograman Sistem	64
Lampiran 5. Perhitungan diameter polimer fiber	77
Lampiran 6. Dokumentasi	78

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masyarakat Indonesia telah banyak memanfaatkan produk hasil nanoteknologi. Nanoteknologi biasa dimanfaatkan pada pembuatan komputer, barang elektronik, polimer suplemen, tekstil, dan lain-lain. Nanoteknologi merupakan suatu teknologi yang mempelajari mengenai benda-benda dengan ukuran skala nano, kemudian akan dibentuk menjadi suatu benda baru dengan karakter tertentu. Nanoteknologi sampai saat ini masih menjadi topik yang sangat masif untuk diteliti oleh beberapa lembaga penelitian dan kampus. Nurul Taufiq Rohman, ilmuwan asal LIPI mengatakan bahwa nanoteknologi dapat menciptakan efisiensi dan nilai tambah pada sebuah benda. Berdasarkan pada survei, sampai saat ini sudah terdapat sekitar 35% industri di Indonesia menerapkan nanoteknologi (LIPI 2014). Salah satu industri yang menggunakan nanoteknologi yaitu industri tekstil. Salah satu material tekstil yang dihasilkan dari nanoteknologi yaitu nanoserat atau *nanofiber*. *Nanofiber* dalam dunia tekstil didefinisikan sebagai fiber dengan ukuran diameter 100-500 nm (Wahyudi and Sugiyana 2011).

Sifat dan karakteristik *fiber* akan berubah drastis ketika ukurannya menyusut dari mikrometer menjadi nanometer. Salah satunya yaitu meningkatnya luas permukaan *fiber* terhadap rasio volumenya, serta sifat mekanik yang semakin baik. Contoh sifat mekanik tersebut antara lain kekakuan (*stiffness*) dan kekuatan (*strength*). Dengan karakteristik yang bagus ini maka *nanofiber* mempunyai aplikasi yang sangat luas (Indahwati and Triyana 2016). *Nanofiber* dapat digunakan untuk memproduksi bahan penyimpan energi seperti kapasitor, bahan DSSC, dan lain-lain (Patil et al. 2017). Pembuatan *nanofiber* dapat dilakukan dengan beberapa metode. Metode yang biasa digunakan yaitu teknik pemintalan multikomponen, *melt blowing*, dan *electrospinning* (Wahyudi and Sugiyana 2011).

Metode *electrospinning* merupakan suatu metode untuk pembuatan *nanofiber* dengan memanfaatkan medan listrik yang dihasilkan oleh suatu tegangan tinggi. *Needle* dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan dan kolektor dihubungkan dengan kutub negative sumber tegangan. Tegangan tinggi pada *needle* akan mengakibatkan terbentuknya medan listrik yang tinggi di sekitar ujung jarum dan kolektor. Medan listrik ini akan menarik droplet yang terbentuk pada ujung jarum sehingga tertarik sedikit demi sedikit kemudian tertempel di dalam kolektor. Selama perjalanan dari ujung jarum hingga sampai ke kolektor, larutan akan menguap dengan perlahan dan terbentuk polimer *fiber* pada kolektor. Metode *Electrospinning* merupakan metode yang paling memberikan banyak kelebihan diantara metode yang ada. Kelebihan tersebut antara lain teknik *electrospinning* simpel dan murah, ukuran *nanofiber* yang dihasilkan dapat dibuat dengan mengontrol beberapa parameter. Parameter tersebut antara lain besarnya tegangan tinggi yang digunakan, viskositas dan konduktifitas larutan, jarak antara ujung jarum dengan kolektor, tegangan permukaan, *feed rate*, dan ukuran lubang jarum (Patil et al. 2017).

Banyak dilakukan penelitian mengenai rancang bangun alat *electrospinning* dengan berbagai sistem kontrol untuk meningkatkan kualitas hasil *nanofiber*. Dalam penelitian Gaofeng Zheng dkk di Departemen Teknik Mesin dan Elektro China, *electrospinning* dikembangkan dengan sistem kontrol yang semakin kompleks dan lengkap. Dalam penelitiannya, Gaofeng merancang sistem kontrol untuk sumber tegangan tinggi, kecepatan aliran dari larutan yang keluar dari *spinneret*, jarak antara jarum *spinneret* dengan kolektor, serta kecepatan gerak jarum *spinneret* dan kolektor. Sumber tegangan tinggi dirancang pada nilai 0-15 kV. Kecepatan gerak jarum *spinneret* mulai dari 0.001 – 0.1 m/s dan kecepatan gerak kolektor sebesar 0.07-7 m/s. Perancangan sistem *electrospinning* yang dilakukan oleh Gaofeng Zheng dkk merupakan *electrospinning* berbasis NFES (*Near Field Electrospinning*). NFES merupakan *electrospinning* dengan

jarak kolektor dan jarum *spinneret* yang sangat kecil yaitu sebesar 2-10 mm. Jarum *spinneret* berada di bagian atas dan menghadap ke bawah, serta kolektor berada di bagian bawah. Pada penelitian ini jarum *spinneret* dan kolektor dirancang bergerak ke kanan dan ke kiri (Zheng et al. 2007). NFES buatan Gaofeng Zheng mampu menghasilkan lapisan tipis dengan lebar dan ketebalan dalam skala nano. Peneliti asal Xiamen University China, Jin Wei dkk juga melakukan penelitian mengenai NFES. Jin Wei menggunakan sistem yang hampir sama dengan Gaofang Zheng, perbedaanya terletak pada pergerakan kolektor dalam 2 dimensi (sumbu XY) dan *spinneret* bergerak atas bawah (sumbu Z). Dengan nilai parameter yang berbeda, Jin Wei memperoleh hasil dalam bentuk *nanofiber* ataupun lapisan tipis. Lapisan tipis dapat terbentuk karena jarak kolektor dan *spinneret* yang terlalu dekat dan konsentrasi yang terlalu rendah. Kecepatan gerak kolektor dan jarum *spinneret* berpengaruh terhadap terbentuknya polimer *fiber* (Wei et al. 2013). Oleh karena hal tersebut, dalam penelitian ini penulis akan melakukan rancang bangun *electrospinning* dengan jarak *spinneret* dan kolektor yang besar (skala sentimeter). Kolektor akan dibangun dengan bentuk seperti tabung silinder.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah cara membuat kontrol kecepatan dan arah putar pada motor DC?
2. Bagaimanakah cara membuat kontrol kecepatan, jarak dan arah putar pada motor *stepper*?
3. Apakah *electrospinning* dapat menghasilkan *nanofiber*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Merancang dan membuat sistem pengontrol kecepatan dan arah putar kolektor.
2. Merancang dan membuat sistem pengontrol kecepatan dan arah gerak pada motor *stepper* sebagai penggerak jarum *spinneret*.
3. Untuk mendapatkan *nanofiber* dengan *electrospinning*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor DC 12V dan L293D sebagai pengontrol kolektor.
2. Pengatur kecepatan putar kolektor menggunakan prinsip *Pulse Width Modulation*.
3. Motor *stepper* dan A4988 digunakan sebagai pengontrol jarum *spinneret*.
4. Parameter yang dikontrol antara lain kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret*, kecepatan dan arah putar kolektor.
5. Penelitian hanya dilakukan sampai tahap rancang bangun.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian Tugas Akhir ini dapat membantu dalam pembuatan alat *electrospinning* yang dapat digunakan untuk fabrikasi *nanofiber*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai teknologi *electrospinning*.

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan Tugas Akhir tentang rancang bangun dan prinsip kerja *electrospinning*.

BAB VI : Penutup

Bab Penutup ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN :Lampiran berisi beberapa gambar penunjang penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer Fiber

Polimer *fiber* sering dimanfaatkan dalam bidang *engineer*. Polimer *fiber* banyak digunakan untuk pembuatan tekstil, filtrasi, sensor, penguatan komposit dan lain lain. Polimer *fiber* yang banyak digunakan untuk beberapa hal di atas berukuran nanometer. Polimer *fiber* yang memiliki ukuran dalam orde nano disebut dengan *nanofiber*. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk fabrikasi polimer *fiber*. Metode tersebut antara lain yaitu metode *syntesis*, *melt spinning*, *mechanical drawing*, dan *lithography*. Akan tetapi metode tersebut hanya dapat menghasilkan *fiber* dalam ukuran paling kecil 2 μm . Fabrikasi polimer *fiber* dengan ukuran skala nanometer dapat dilakukan dengan alat *electrospinning* (Y. Li and Wan 2017).

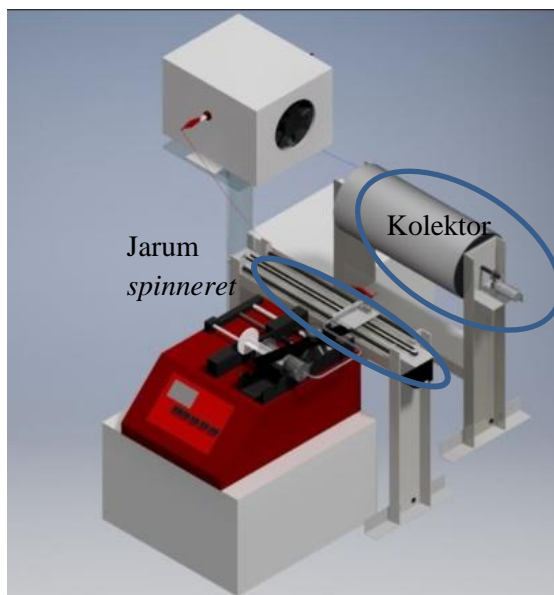
Hasil fabrikasi *nanofiber* dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Uji SEM dilakukan untuk melihat dan mengukur morfologi dan diameter *nanofiber* (Hung et al. 2017). Terdapat bermacam-macam bentuk *nanofiber* yang dapat dihasilkan dari fabrikasi *electrospinning*. Pada penelitian terdahulu telah diperoleh beberapa bentuk *nanofiber* antara lain *solid nanofiber*, *core-shell*, *hollow nanofiber*, dan *porous nanofiber*. Perbedaan bentuk tersebut dapat diperoleh dengan mengatur *electrospinning* dan melakukan optimasi pada setiap parameter yang digunakan (L. Li et al. 2017).

2.2 Electrospinning

Teknik *electrospinning* merupakan suatu teknologi untuk membuat partikel 1 dimensi berukuran nano yang berasal dari bahan berupa larutan ataupun cairan. Teknik *electrospinning* dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan tinggi. Sumber tegangan yang bisa dilakukan dalam penggunaan *electrospinning* antara 7 kV sampai 32 kV. *Nanofiber* hasil proses *electrospinning*

mempunyai banyak kelebihan, diantaranya yaitu mempunyai porositas yang tinggi dan luas permukaan per satuan volume yang lebih besar (Patil et al. 2017).

Pembuatan *nanofiber* dengan ukuran diameter dalam skala nano dapat dilakukan dengan mengontrol beberapa parameter dalam proses pembuatan dengan electrospinning. Parameter yang dapat dikontrol antara lain viskositas larutan yang digunakan, tegangan permukaan, sumber tegangan tinggi, besar kecilnya droplet yang keluar dari jarum, konduktivitas larutan, dan jarak antara ujung jarum penyemprot larutan ke kolektor. Kolektor merupakan suatu plat yang digunakan sebagai tempat pengumpul *nanofiber* hasil proses electrospinning (Patil et al. 2017). Desain alat electrospinning ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Electrospinning* (penulis,2017)

Seperti pada Gambar 2.1, *electrospinning* mempunyai tiga bagian penting sebagai berikut, sumber tegangan tinggi, *spinneret*

atau penyemprot larutan, dan kolektor sebagai tempat pengumpul *nanofiber* hasil proses *electrospinning*. Sumber tegangan tinggi dihubungkan dengan ujung jarum *spinneret* dan kolektor. Jarum *spinneret* diberi muatan positif sedangkan pada kolektor diberi muatan negatif.

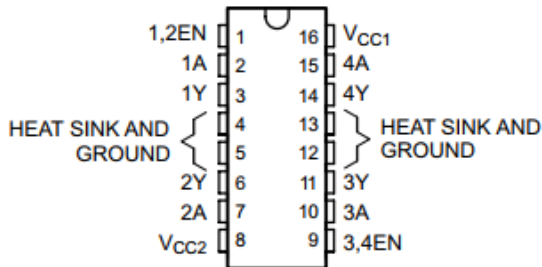
Tegangan tinggi yang diberikan pada ujung jarum mengakibatkan timbulnya medan listrik. Larutan di ujung jarum yang berbentuk setengah lingkaran (droplet) mengalami polarisasi. Droplet memiliki tegangan permukaan dan viskositas untuk mengimbangi gaya elektrostatis. Ketakseimbangan antara gaya elektrostatis dan tegangan permukaan larutan mengakibatkan droplet tertarik dan membentuk sebuah kerucut (biasa disebut dengan *Taylor cone*). *Taylor cone* semakin tertarik dan membentuk jet. Jet tertarik menuju kolektor akibat adanya medan listrik dan gaya elektrostatis antara jet bermuatan dengan kolektor. Jet mengalami penipisan dan penguapan sehingga terbentuk *fiber* pada kolektor (Patil et al. 2017).

Terdapat beberapa parameter yang dapat dikontrol untuk membuat *nanofiber* dengan ukuran tertentu. Sistem kontrol untuk *nanofiber* pada *electrospinning* dikembangkan untuk mengontrol dan memonitor *electrospinning* dengan PC. Bagian utama dalam *electrospinning* yang dapat dikontrol antara lain pada sumber tegangan tinggi, motor DC, dan motor *stepper* serta *syringe pump* (L. Li et al. 2017). Pada penelitian ini pengontrolan difokuskan pada penggerak kolektor dan jarum *spinneret* seperti yang telah ditandai pada Gambar 2.1.

2.2.1 Sistem pengontrol kolektor

Sistem penggerak kolektor dilakukan dengan menggunakan motor DC 12V dan *driver* L293D. *Driver* L293D digunakan sebagai pengontrol arah dan kecepatan putar kolektor. Pengontrol kecepatan putar kolektor dilakukan dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). PWM digunakan untuk mengatur lebar pulsa masukan ke dalam motor DC melalui pin *enable* yang terdapat di dalam IC L293D (Agung, Huda, and Wijaya 2014).

Skematik dari IC L293D ditunjukkan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skematik IC L293D (Texas Instrument, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.2 dapat terlihat bahwa IC L293D dapat digunakan untuk mengontrol 2 buah motor DC. Kontrol arah putaran dapat dilakukan melalui input yang diberikan pada pin 2, 7 dan pin 15, 10. Secara keseluruhan penjelasan mengenai pin kaki pada L293D dan kegunaannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Fungsi pin pada L293D

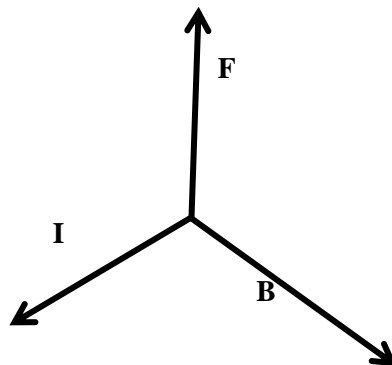
Pin	Fungsi
1 dan 9	Sebagai pengaktif masukan tinggi pada channel 1 dan 2
2, 7, 10, dan 15	Input <i>driver</i>
3, 6, 11, dan 14	Output <i>driver</i>
4, 5, 12, dan 13	Ground
8	Sebagai power untuk motor DC
16	Sebagai power pengaktif IC L293D

(Texas Instrument, 2016)

L293D dapat digunakan untuk mengontrol dua buah motor DC. Arah putaran dapat diatur dengan memanfaatkan tegangan yang masuk ke dalam pin *input* (2, 7, 10, dan 15). Cara kerja L293D mengatur arah putaran adalah sebagai berikut. Apabila pin 2 HIGH dan pin 7 LOW maka motor DC akan berputar ke dalam suatu arah. Apabila pin 2 LOW dan pin 7 HIGH maka motor akan berputar ke arah sebaliknya. Sedangkan apabila pin 2 dan 7 sama keadaannya HIGH atau LOW maka motor DC akan berhenti

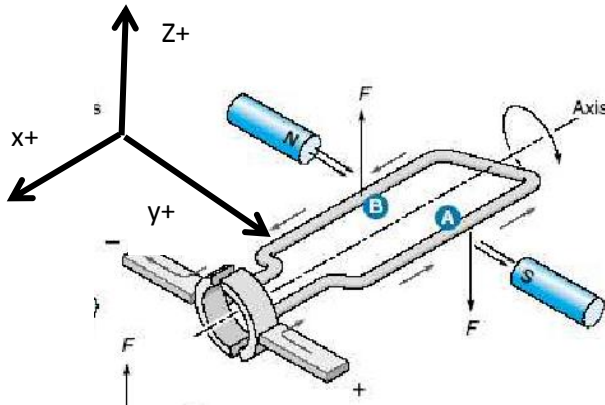
(Agung, Huda, and Wijaya 2014). Pengontrol besar kecepatan putar motor DC menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM berfungsi untuk menentukan lebar pulsa yang diberikan sebagai penggerak motor DC (Makaran 2010).

Motor DC (*Direct Current*) merupakan alat listrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi gerakan mekanik. Motor DC dapat bergerak akibat adanya *supply* tegangan DC. Motor DC terdiri dari dua bagian utama, rotor dan strator. Strator merupakan bagian yang diam dan rotor merupakan bagian yang bergerak. Motor DC bergerak berdasarkan prinsip gaya Lorentz. Apabila terdapat sebuah konduktor yang dialiri dengan arus listrik dan berada dalam suatu medan magnetik maka akan timbul gaya yang arahnya tegak lurus dengan arus listrik dan medan magnet seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Arah arus listrik, medan magnetic, dan gaya Lorentz(Iswandi P,2014)

Motor DC dapat bergerak berdasarkan prinsip gaya Lorentz. Prinsip pergerakan motor DC dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.4. Magnet permanen merupakan bagian diam (strator) dari motor DC, sedangkan konduktor merupakan bagian yang berputar (rotor). Magnet permanen akan menghasilkan medan magnetik yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan magnet.



Gambar 2.4 Prinsip motor DC berdasarkan gaya Lorentz
(Iswandi P,2014)

Saat konduktor dialiri arus listrik dari A menuju B, maka bagian A akan mengalami gaya Lorentz ke arah sumbu z^- , sedangkan bagian B akan mengalami gaya Lorentz ke arah sumbu z^+ . Apabila sudah mencapai setengah putaran, arah arus listrik dibalik oleh komutator. Komutator merupakan konduktor setengah lingkaran yang terhubung dengan ujung-ujung konduktor. Antara setengah lingkaran satu dengan setengah lingkaran yang lain tidak terhubung. Komutator ikut berputar bersama dengan kawat konduktor. Komutator setengah lingkaran akan bersentuhan dengan sikat (*brush*). *Brush* merupakan bagian yang terhubung dengan sumber tegangan. Arus listrik selalu mengalir dari *brush* positif menuju *brush* negatif. Pada setengah putaran yang kedua maka arus listrik mengalir dari B menuju A, sehingga pada bagian A akan mengalami gaya Lorentz ke arah sumbu z^+ dan bagian B mengalami gaya Lorentz ke arah sumbu z^- . Dengan demikian motor akan berputar dalam lingkaran penuh. Putaran dapat diseragamkan dengan menambahkan jumlah kumparan konduktor dengan komutator yang terpisah. Adanya gaya Lorentz inilah yang akan menyebabkan timbulnya torsi sehingga memutar motor. Besarnya gaya Lorentz dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya yaitu arus listrik, medan magnet, dan panjang dari kumparan konduktor, serta sudut yang dibentuk

antara arus listrik dan medan magnet. Besarnya gaya Lorentz yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti rumus berikut ini.

$$F = BIl\sin\theta \quad (2.1)$$

Keterangan:

F = gaya Lorentz (N)

B = kerapatan fluks magnetik (Gauss)

I = arus listrik (A)

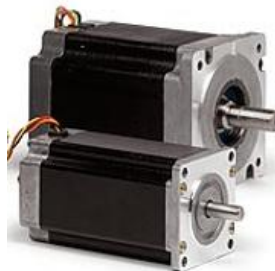
l = panjang kumparan (m)

θ = sudut antara arus listrik dan medan magnet ($^{\circ}$)

(Iswandi P, 2014)

2.2.2 Sistem pengontrol jarum *spinneret*

Penggerak jarum *spinneret* dilakukan dengan menggunakan motor *stepper* dan driver A4988. Motor *Stepper* merupakan suatu motor yang dapat merubah sinyal elektrik menjadi suatu putaran. Motor *stepper* merupakan motor yang sangat presisi, sangat efektif dalam mengontrol perputaran. Motor 2 fasa yang bergerak dengan sangat kecil, dengan 0.9 derajat per *step* atau 400 *step* pada setiap putaran. Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Motor *stepper* yang digunakan merupakan jenis *hybrid*. Motor *stepper* tipe *hybrid* memiliki gigi-gigi seperti pada motor tipe *variable reluctance* dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe *permanent magnet*. Gambar 2.5 menunjukkan jenis motor *stepper* yang digunakan.



Gambar 2.5 Motor *Stepper* (National Instrument, 2014)

Gerakan motor *stepper* yang digunakan dikonversi dari gerak rotasi menjadi sebuah gerak linier untuk menggerakkan jarum *spinneret*. Untuk mendapatkan nilai step/mm dari motor *stepper* digunakan persamaan 2.2.

$$\text{step/mm} = \frac{\text{Srev} \times f}{p \times N} \quad 2.2$$

Keterangan:

Step/mm = jumlah step untuk pergerakan linier 1 mm.
 Srev = jumlah step tiap putaran
 f = factor mikrotepping yang digunakan
 p = jarak antar peak dari *pulley* (mm)
 N = jumlah *pulley*

Driver motor digunakan untuk mengontrol gerakan motor *stepper*. Driver motor yang dapat digunakan salah satunya yaitu A4988. Driver A4988 digunakan untuk mengatur *step* dan *delay* dari motor *stepper*. Selain itu dapat ditentukan pula jarak yang diinginkan. Kecepatan putar motor *stepper* bergantung pada frekuensi *control impulse* yang diberikan (Kukla et al. 2016).

2.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

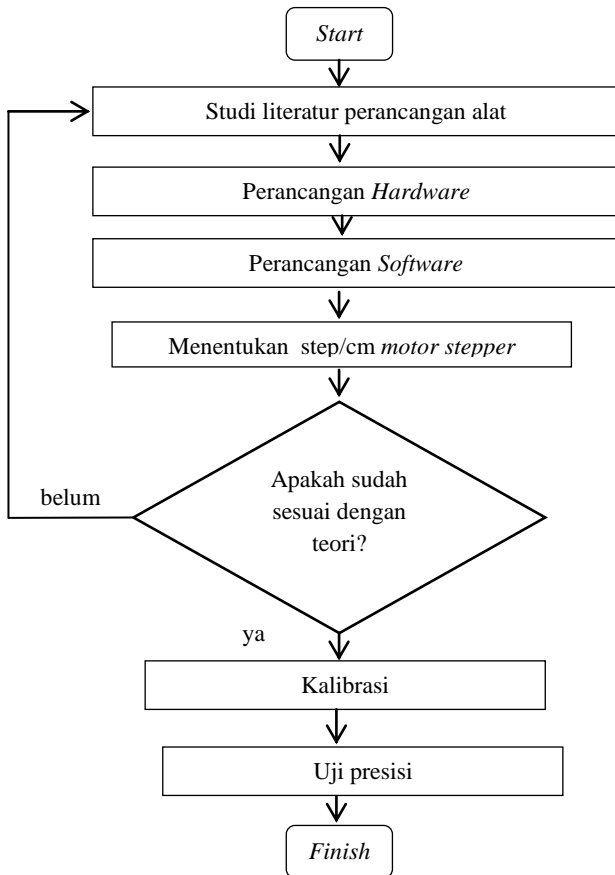
Scanning Electron Microscope atau biasa disingkat dengan SEM merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui dan mengukur morfologi serta diameter *nanofiber*. Dari hasil uji SEM diperoleh hasil berupa gambar. Untuk mengetahui nilai diameter dari sampel yang diuji, digunakan sebuah *software Image-J*. Setidaknya diperlukan minimal 20 segmen berbeda yang diambil secara acak untuk menghitung nilai rata-rata *nanofiber* (Hung et al. 2017).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir penelitian

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa terdapat beberapa tahapan untuk menyelesaikan penelitian ini. Yang pertama yaitu menyiapkan konsep dan rancangan sistem yang akan dibangun. Lalu dilakukan simulasi rangkaian dengan menggunakan *software* Proteus. Penggunaan *software* Proteus untuk mengetahui kerja dari sistem yang akan dibangun. Kemudian dilakukan pembuatan rangkaian yang meliputi pembuatan *Printed Circuit Board* dan pemasangan komponen. Lalu dilakukan karakterisasi dari motor *stepper* dan motor DC yang digunakan. Setelah itu dilakukan penyatuan seluruh bagian menjadi satu sistem. Kemudian dilakukan uji kalibrasi dan presisi dari alat yang dibuat untuk mengetahui keakuratan dari alat yang telah dibuat.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam rancang bangun *electrospinning* adalah sebagai berikut ini.

1. IC L293D

IC L293D merupakan komponen yang digunakan sebagai *driver* motor DC 12 V. L293D ini dapat mengatur dua arah putaran. L293D memiliki spesifikasi arus maksimum 600 mA dan tegangan kerja 4,5 V sampai 36 V. L293D terdiri dari 16 buah pin kaki dengan konfigurasi seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Komponen L293D

2. Potensiometer

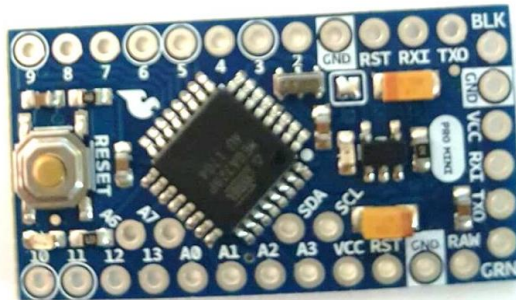
Potensiometer pada alat *electrospinning* ini digunakan untuk mengatur besar kecilnya tegangan listrik. Potensiometer dapat mengatur besar kecilnya tegangan berdasarkan perubahan nilai resistansinya. Potensiometer ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Potensiometer

3. Arduino Pro Mini

Arduino pro Mini merupakan suatu kit elektronik yang berfungsi sebagai pengendali suatu rangkaian tertentu. Arduino berfungsi sebagai penerima sinyal analog maupun digital untuk kemudian diproses dan diterjemahkan menjadi suatu sinyal yang dapat diterima oleh sistem digital. Arduino pro mini dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler ATMEGA328. Arduino Promini ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Arduino Pro Mini

4. Motor DC 12V

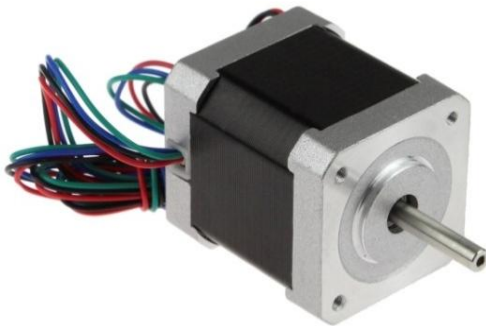
Motor DC digunakan sebagai penggerak kolektor pada *electrospinning*. Motor DC yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan 12 V. Prinsip dari motor DC yaitu mengubah listrik menjadi sebuah gerakan putaran. Motor DC ditunjukkan oleh Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Motor DC

5. Motor *Stepper*

Motor *stepper* merupakan suatu motor yang perputarannya dilakukan secara step by step setiap derajat tertentu. Motor *stepper* digunakan sebagai penggerak jarum *spinneret* ke kanan dan ke kiri. Motor *stepper* ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Motor *Stepper*

6. Saklar

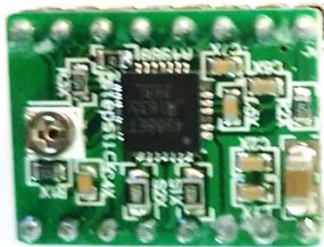
Saklar berfungsi sebagai penyambung dan pemutus arus dalam rangkaian. Saklar yang digunakan merupakan saklar yang terdiri dari 6 buah kaki dan terbagi masing-masing bagian 3 kaki. Saklar 6 kaki ditunjukkan oleh Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Saklar

7. *Driver* A4988

Driver A4988 merupakan *driver* yang digunakan untuk mengontrol motor *stepper*. A4988 ditunjukkan oleh Gambar 3.8.



Gambar 3.8 A4988

8. LCD 2004A

LCD 2004A merupakan suatu layar yang digunakan untuk menampilkan tulisan tertentu. Pada *electrospinning* ini digunakan untuk menampilkan nilai kecepatan putar

motor DC, lebar lintasan jarum suntik, dan nilai tegangan tinggi yang digunakan. LCD ditunjukkan oleh Gambar 3.9.



Gambar 3.9 LCD 20x4

9. Sumber Tegangan Tinggi
Sumber tegangan tinggi digunakan sebagai penghasil medan listrik dan gaya elektrostatis antara jarum *spinneret* dan kolektor. Sumber tegangan tinggi ditunjukkan oleh Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Sumber tegangan tinggi

10. *Tachometer*
Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar kolektor. *Tachometer* ditunjukkan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Tachometer*

11. Penggaris

Penggaris digunakan untuk mengukur jarak pergerakan jarum *spinneret*. Penggaris ditunjukkan oleh Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Penggaris

12. Sduit

Sduit digunakan sebagai tempat penampung larutan yang akan disemprotkan. Sduit ditunjukkan oleh Gambar 3.13.



Gambar 3.13 S spuit

13. Adaptor 12V

Adaptor 12V berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 220V menjadi 12V. Adaptor ini digunakan sebagai sumber utama dalam menjalankan sistem kontrol yang dibangun. Adaptor ditunjukkan oleh Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Adaptor 12V

14. Larutan PVA

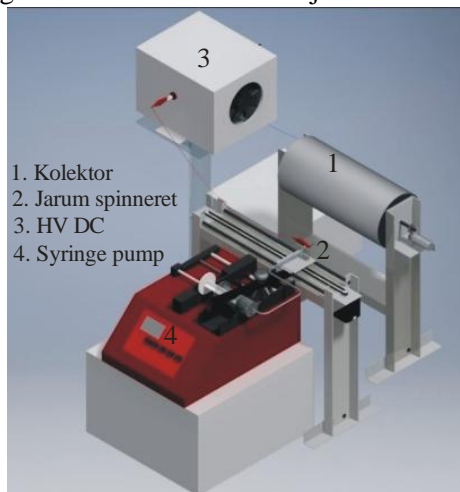
Larutan PVA (*Polyvinil Alcohol*) merupakan bahan yang akan digunakan sebagai pembuat *nanofiber*. Larutan PVA ditunjukkan oleh Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Larutan PVA (*Polyvinil Alcohol*)

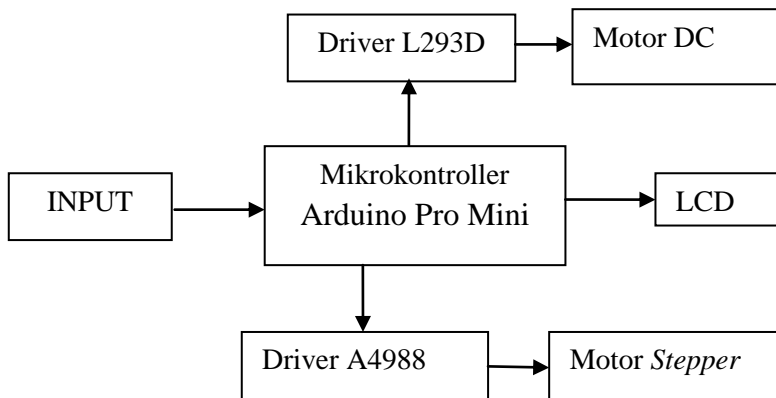
3.3 Perancangan Umum

Electrospinning mempunyai beberapa bagian utama seperti sumber tegangan tinggi, *syringe pump*, jarum *spinneret* dan kolektor. Penelitian ini dikhususkan pada rancang bangun sistem pengontrol jarum *spinneret* dan kolektor. Parameter yang dikontrol antara lain kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret* serta kecepatan dan arah putar kolektor. Desain rancang bangun electrospining secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Skema alat *electrospinning*

Penelitian ini difokuskan pada rancang bangun sistem pengontrol gerak kolektor dan jarum *spinneret*. Pada perancangan ini terdapat dua sistem yang dibuat, sistem perangkat keras (*hardware*) dan sistem perangkat lunak (*software*). Sistem perangkat lunak menggunakan *software* Arduino dan Proteus. Arduino sebagai *software* untuk pembuatan koding agar sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Sistem pengontrol ini dikendalikan oleh arduino promini sebagai mikrokontroler dan otak dalam sistem yang dibangun. Perintah diberikan terhadap arduino promini dan akan dieksekusi oleh *driver* dan motor. Nilai *setting* parameter ditampilkan melalui LCD 20 x 4. Gambar 3.17 berikut ini merupakan diagram blok dari sistem pengontrol yang akan dibangun.



Gambar 3.17 Blok diagram sistem pengontrol kolektor dan motor *stepper*

3.4 Perancangan Penurun Tegangan

Sistem pengontrol gerak jarum *spinneret* dan kolektor digunakan sumber tegangan DC 12 V. Sumber DC diperoleh dari adaptor dengan spesifikasi 12V dan arus listrik 7A. Beberapa bagian pada sistem ini membutuhkan *supply* tegangan 5V, diantaranya adalah untuk menghidupkan IC dan masukan HIGH

dan LOW pada arduino. Oleh karena hal tersebut dibuat suatu sistem penurun tegangan tanpa membatasi arus listrik yang dilewatkan. Rangkaian skematik sistem penurun tegangan terdapat pada lampiran Gambar 1.

3.5 Perancangan Sistem Kontrol Gerak Kolektor

Sistem penggerak kolektor terdiri dari motor DC 12 V, *driver* motor IC L293D, mikrokontroler arduino promini, dan potensiometer sebagai pengatur *Pulse Width Modulation*. Dalam sistem ini kolektor digerakkan oleh motor DC 12V. Arah putaran kolektor ditentukan dari input HIGH atau LOW pada pin 2 dan 7. Diantara kedua pin tersebut harus berbeda keadaan *input* yang diberikan, HIGH dan LOW. Kecepatan putar kolektor dikontrol dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan rekayasa lebar sinyal tegangan listrik yang diberikaan untuk memutar kolektor. Pengaturan PWM dilakukan dengan menggunakan potensiometer. Rangkaian skematik pengontrol gerak kolektor terdapat pada lampiran Gambar 2.

3.6 Perancangan Sistem Kontrol Gerak Jarum *Spinneret*

Sistem penggerak jarum *spinneret* terdiri dari motor *stepper*, *driver* A4988, arduino promini sebagai mikrokontroler, *push button*, dan resistor. *Push button* berfungsi sebagai pemberi pulsa masukan untuk mengatur kecepatan dan jarak gerak dari jarum *spinneret*. Terdapat empat buah *push button* untuk mengatur jarak gerak (naik dan turun) serta kecepatan gerak (naik dan turun). Pada setiap masukan HIGH maka akan menambah atau mengurangi jarak dan kecepatan gerak yang diinginkan. Setelah pengaturan kecepatan dan jarak gerak dilakukan, perintah akan dikirim kepada *driver* motor *stepper* A4988 untuk eksekusi oleh motor *stepper*. Motor *stepper* akan menggerakkan jarum *spinneret*. Motor *stepper* dipasang sabuk untuk mengkonversi gerakan putar motor *stepper* menjadi sebuah gerakan linier jarum *spinneret*. Rangkaian skematik pengontrol gerak jarum *spinneret* terdapat pada lampiran Gambar 3.

3.7 Perancangan Sistem Display

Pada sistem yang telah dibuat tentu diperlukan suatu *display* untuk menampilkan nilai dari beberapa besaran yang diatur dalam sistem ini. Diantaranya yaitu untuk menampilkan panjang dan kecepatan linier dari jarum *spinneret* serta nilai kecepatan putar dari motor DC 12 V. Dalam sistem yang akan dibangun berikut ini, *interface* nilai-nilai tersebut dilakukan dengan menggunakan LCD 20 x 4 dengan memanfaatkan I2C. I2C digunakan untuk menghemat penggunaan pin analog dan digital dalam arduino promini. Rangkaian skematik sistem *display* terdapat pada lampiran Gambar 4.

3.8 Kalibrasi

Dalam pembuatan sebuah alat diperlukan suatu kalibrasi untuk mengetahui keakuratan dari alat tersebut. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan spesifikasi yang dimiliki oleh alat tersebut. Kalibrasi dilakukan pada kecepatan putar kolektor, jarak dan kecepatan gerak jarum *spinneret*. Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan ataupun kepercayaan terhadap suatu alat. Berikut ini rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *error* dan tingkat keakuratan dari suatu kalibrasi alat ukur.

$$\text{error} = \left| \frac{\text{perhitungan} - \text{pengukuran}}{\text{perhitungan}} \right| \times 100\% \quad 3.1$$

$$\text{keakuratan} = 100\% - \text{error} \quad 3.2$$

3.9 Presisi

Presisi menunjukkan seberapa besar kedekatan nilai dari hasil pengukuran dengan dilakukannya pengulangan. Dalam melakukan perhitungan presisi ada beberapa hal yang harus dihitung. Rumus perhitungan yang digunakan terdapat pada persamaan 3.3 hingga 3.5.

a. Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n \times (n - 1)}} \quad 3.3$$

b. Ralat Nisbi

$$I = \frac{\Delta}{x} \times 100\% \quad 3.4$$

c. Keseksamaan

$$K = 100\% - I \quad 3.5$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Motor *Stepper*

Karakterisasi motor *stepper* perlu dilakukan untuk mengetahui karakter dari motor *stepper* apakah sesuai dengan spesifikasi yang tertulis atau tidak. Motor *stepper* merupakan sebuah motor dengan perputaran melalui *step-step*. Setiap jenis motor mempunyai spesifikasi putaran derajat per step yang berbeda-beda. Pada rancang bangun ini digunakan motor *stepper* jenis 42H47HM-0504A-18. Motor *stepper* jenis ini memiliki spesifikasi 0.9°/step. Hal ini menunjukkan bahwa untuk mencapai satu putaran penuh motor *stepper* jenis ini memerlukan 400 step. Pada rancang bangun ini motor *stepper* perlu dikarakterisasi kaitannya dengan jarak linier yang ditempuh oleh jarum *spinneret*, konversi dari gerakan rotasi ke dalam gerak linier. Konversi dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.2. Dari konversi yang telah dilakukan sesuai dengan spesifikasi motor *stepper* tersebut diperoleh nilai 111 step/cm. Kemudian dilakukan uji dengan beberapa variasi jarak sesuai dengan 111 step/cm. Pengukuran diulang sebanyak 10 kali. Berikut ini rata-rata hasil pengukuran jarak pengukuran seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil karakterisasi motor *stepper*

x spek(cm)	Step/cm spek	X _{pengukuran} (cm)	Step/cm pengukuran
1	111	1.1	101
5	555	5.1	109
10	1110	10.2	109
15	1665	15.2	109
20	2220	20.8	107
Rata-rata			107

Berdasarkan hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 4.1, nilai

step/cm dari motor *stepper* yang digunakan berbeda dari perhitungan melalui spesifikasi yang dimiliki. Diperoleh nilai step/cm dari pengukuran yaitu 107 step/cm. sehingga untuk pengambilan data yang selanjutnya digunakan hasil karakterisasi tersebut. Setelah diketahui nilai step/cm lalu nilai tersebut digunakan untuk menghitung waktu HIGH dan LOW tiap step (*delaymicrosecond*) dari motor *stepper*, kemudian digunakan dalam koding untuk memberikan perintah terhadap sistem. Pengukuran kecepatan gerak jarum *spinneret* dilakukan secara tidak langsung melalui pengukuran jarak dan waktu. Pengukuran dilakukan dengan tiga variasi jarak (1, 5, dan 10 cm). Tabel 4.2 berikut ini menunjukkan rata-rata hasil pengukuran kecepatan jarum *spinneret*.

Tabel 4. 2 Hasil uji kecepatan linier motor *stepper*

$v_{\text{referensi}}$ (cm/s)	Delay (μ s)	$v_{\text{pengukuran}}$ (cm/s)
0.10	46728.97	0.33
0.30	15576.32	0.30
0.50	9345.79	0.49
0.70	6675.57	0.70
0.90	5192.11	0.94
1.10	4248.09	1.10

Dari hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dengan faktor mikrostepping 1, kecepatan linier motor *stepper* tidak bisa lebih kecil dari 0.3 cm/s. Hal ini sudah menjadi karakter dari motor *stepper* jenis ini pada faktor mikrostepping 1 bahwa *delaymicrosecond* tidak bisa lebih besar dari 15576.32 μ s. Ketika diberikan *delay* yang lebih besar dari 15576.32 μ s, motor *stepper* tidak dapat merespon perintah yang diberikan oleh mikrokontroler. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan minimum yang bisa dilakukan yaitu 0.3 cm/s

4.2 Karakterisasi Motor DC 12V

Karakterisasi motor DC dilakukan untuk mengetahui daerah kerja dari motor DC yang digunakan. Selain itu juga untuk

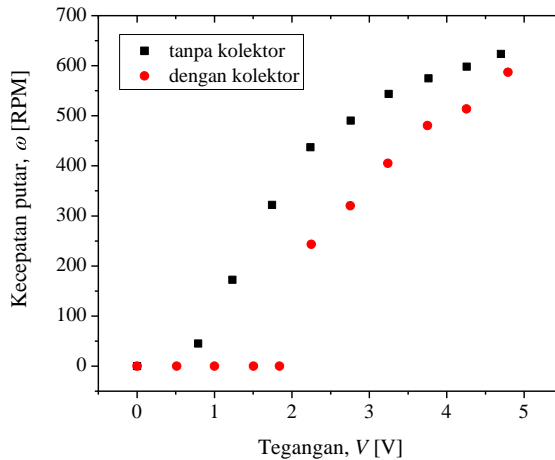
mengetahui hubungan linieritas antara kecepatan rotasi motor DC dengan tegangan yang bekerja motor DC. Pada karakterisasi ini dilakukan pengukuran kecepatan motor DC dengan dan tanpa menggunakan kolektor. Hasil pengukuran kecepatan putar motor DC tanpa dan menggunakan kolektor terdapat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil uji kecepatan rotasi kolektor

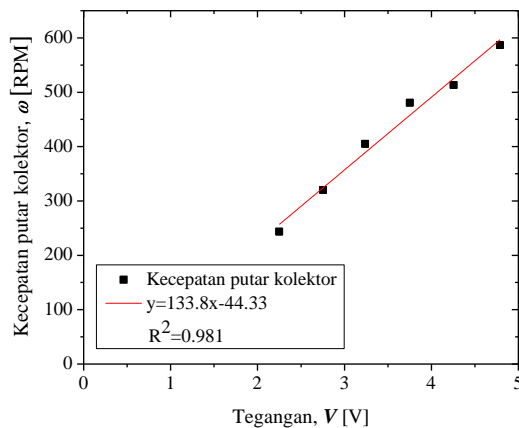
<i>Dengan kolektor</i>			<i>Tanpa kolektor</i>		
<i>V(V)</i>	<i>ADC</i>	<i>(ω)RPM</i>	<i>V(V)</i>	<i>ADC</i>	<i>(ω)RPM</i>
0.0007	2	0.00	0	3	0
0.51	110	0.00	0.79	173	45.01
1.00	211	0.00	1.23	276	172.6
1.51	317	0.00	1.74	378	321.96
1.84	431	0.00	2.24	484	436.9
2.25	475	243.43	2.76	592	490.17
2.76	581	320.22	3.25	698	543.54
3.24	684	405.00	3.76	807	574.74
3.75	791	480.52	4.26	911	597.85
4.26	896	513.50	4.7	1003	623.33
4.79	1010	586.80			

Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengukuran kecepatan putar motor dengan dan tanpa menggunakan kolektor. Pengukuran tanpa menggunakan kolektor, motor sudah dapat berputar ketika nilai tegangan input 0.79V. Pengukuran dengan menggunakan kolektor, mulai dapat berputar pada saat tegangan 2.25 V. Hal ini menunjukkan bahwa untuk memutar motor tanpa kolektor dibutuhkan torsi yang lebih kecil dari pada motor dengan kolektor. Tegangan dibawah 2.25V daya atau torsi yang diberikan masih belum cukup untuk memutar kolektor. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pada tegangan/PWM yang sama kecepatan putar dengan kolektor lebih kecil dari pada kecepatan putar tanpa kolektor. Hal ini karena torsi yang dibutuhkan untuk memutar motor dengan kolektor lebih besar dari pada motor tanpa kolektor.

Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa untuk tegangan lebih dari 2.25 V kenaikan kecepatan rotasi kolektor berbanding lurus dengan tegangan input yang diberikan.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara tegangan dan kecepatan putar



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara tegangan listrik dan kecepatan rotasi kolektor

4.3 Perancangan Sistem Penurun Tegangan

Selain penggunaan adaptor 12V, dibutuhkan sistem penurun tegangan untuk memberikan *supply* tegangan pada komponen yang membutuhkan tegangan sebesar 5V. Tegangan 5V dibutuhkan untuk mengaktifkan IC dan beberapa *driver* agar dapat bekerja, serta untuk memberikan *input* pada arduino promini. Sistem penurun tegangan terdiri dari IC regulator 7809 dan 7805 serta transistor NPN. 7809 untuk menurunkan tegangan hingga 9V dan 7805 untuk 5V. Transistor berfungsi untuk melompati arus listrik dari *input* menuju *output*. Hal ini dilakukan agar arus listrik yang keluar tidak dibatasi oleh IC regulator. Pada rancangan sistem secara keseluruhan digunakan adaptor dengan arus listrik 7A. Hal ini disesuaikan dengan jumlah konsumsi daya dari setiap komponen yang digunakan. Sedangkan IC regulator hanya membatasi arus masukan dengan keluaran 1A. Oleh karena itu dibutuhkan transistor sebagai komponen untuk melompati arus listrik dari *input* menuju *output* tanpa melalui regulator.

4.4 Perancangan Sistem Pengontrol Gerak Jarum *Spinneret*

Penggerak jarum *spinneret* dilakukan dengan menggunakan motor *stepper* jenis hybrid dan *driver* A4988. Pemilihan motor *stepper* karena motor ini memiliki respon yang baik terhadap perubahan sinyal yang diberikan (untuk mulai, berhenti, atau berputar arah). Motor *stepper* dapat memberikan torsi penuh pada awal putaran. Selain itu pergerakan motor *stepper* dapat diatur selambat mungkin.

Kontrol gerak jarum *spinneret* meliputi kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret*. Kontrol kecepatan jarum *spinneret* diperlukan karena adanya pengaruh kecepatan gerak jarum *spinneret* dan kolektor terhadap diameter fiber. Akan tetapi pada Tugas Akhir ini masih belum sampai mengetahui bagaimana pengaruh kecepatan terhadap diameter *nanofiber*. Dalam sistem kontrol gerak jarum *spinneret* dilakukan untuk menambah dan mengurangi jarak dan kecepatan. Sistem yang dibuat untuk mengatur jarak dan kecepatan gerak jarum *spinneret* dilakukan

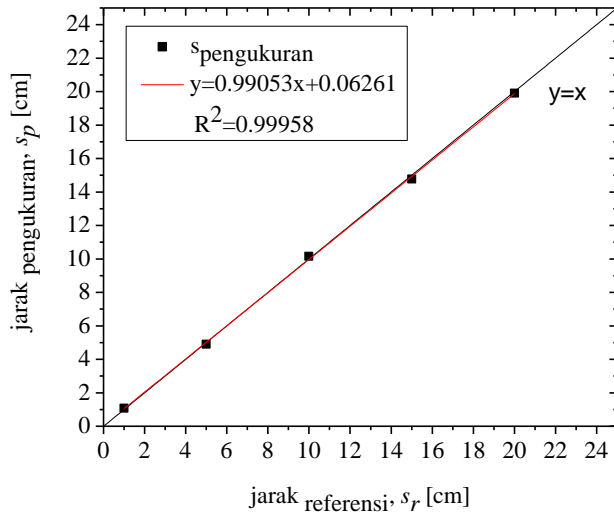
dengan memberikan inputan melalui *push button*. Terdapat empat buah *push button* yang masing-masing berfungsi untuk mengatur kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret*. Dengan sistem yang sudah disesuaikan dengan rancangan software dan mikrokontroler Arduino promini, apabila terdapat inputan pulsa HIGH pada setiap *push button* tersebut, maka input akan diproses oleh mikrokontroler dan kemudian mikrokontroler mengirimkan perintah terhadap aktuator berupa motor *stepper*. Motor *stepper* akan menggerakkan jarum *spinneret* sesuai dengan perintah yang diberikan. Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan sebagian dokumentasi dari alat yang dibangun.



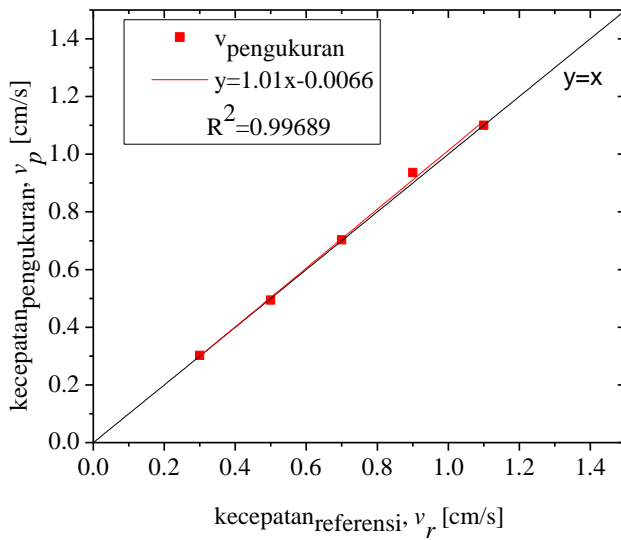
Gambar 4.3 Bagian untuk setting sistem *electrospinning*



Gambar 4.4 Sistem keseluruhan *electrospinning*



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara jarak referensi dan jarak pengukuran



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara jarak referensi dan jarak pengukuran

Panjang gerak jarum *spinneret* diukur dengan menggunakan penggaris. Pengukuran dilakukan dengan dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Kemudian nilai hasil pengukuran dirata-rata dan dibandingkan dengan jarak referensi. Gambar 4.5 merupakan grafik yang menghubungkan antara jarak referensi dan jarak pengukuran pergerakan jarum *spinneret*. Pengukuran jarak dan waktu jarum *spinneret* digunakan untuk menghitung nilai kecepatan jarum *spinneret*. Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara kecepatan referensi dan kecepatan pengukuran jarum *spinneret*.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa jarak pengukuran mendekati dengan nilai jarak referensi. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan karakterisasi motor *stepper* untuk mengetahui step/cm dan dilakukan perbaikan terhadap koding atau perangkat software, hasil pengukuran jarak hampir sesuai dengan jarak referensi. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pengukuran kecepatan jarum *spinneret* mendekati nilai kecepatan referensi.

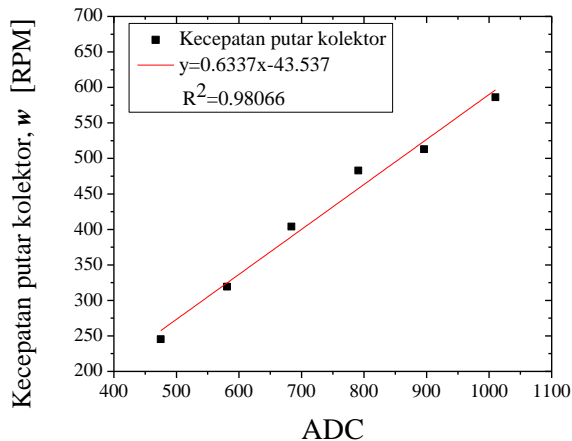
Hasil pengukuran untuk jarak dan kecepatan jarum *spinneret* tidak dapat sama persis dengan referensi karena beberapa hal. Diantaranya yaitu kurangnya ketelitian dalam pengambilan data dan alat yang digunakan kurang tepat. Pengambilan data dilakukan dengan memasang penggaris dan memberikan suatu penanda yang dipasang pada jarum *spinneret*. Lalu diamati jarak tempuh benda penanda tersebut dan dilihat seberapa jauh lintasan dengan menggunakan penggaris tersebut. Waktu tempuh diukur dengan menggunakan stopwatch. Sehingga dari pengambilan data tersebut terdapat kemungkinan terjadi kurangnya ketelitian.

4.6 Perancangan Sistem Pengontrol Gerak Kolektor

Kolektor digerakkan dengan menggunakan motor DC 12V. Kolektor terbuat dari bahan *stainlesteel* dengan diameter 10 cm dan panjang 32 cm. Motor ini merupakan motor dengan spesifikasi terkecil yang mampu untuk memutar kolektor. Selain itu digunakan motor DC karena dianggap sudah cukup untuk memutar kolektor, tidak diperlukan gerakan yang sangat lambat

seperti pada jarum *spinneret*. Saat proses fabrikasi berlangsung, arah kolektor tidak boleh dirubah arah putarannya. Sehingga kelemahan respon yang lambat pada motor DC tidak menjadi masalah dalam perancangan sistem ini. *Driver IC L293D* mempunyai batas maksimum arus 1A. Kecepatan kolektor yang dibutuhkan tidak terlalu tinggi. Sehingga dengan arus listrik 1A, daya yang dihasilkan sudah cukup untuk menggerakkan kolektor.

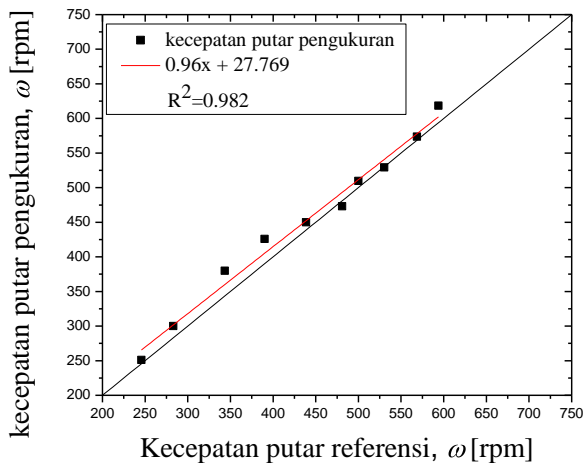
Kontrol gerak kolektor dilakukan dengan menggunakan prinsip *Pulse Width Modulation*. Pengontrolan kecepatan rotasi kolektor dilakukan dengan mengubah pulsa masukan. Lebar pulsa diatur dengan menggunakan pembagi tegangan potensiometer. Dengan berubahnya tegangan pada potensiometer maka akan berubah juga nilai *Analog Digital Converter* (ADC). Nilai ADC akan diproses secara mapping oleh Arduino Promini menjadi sebuah PWM. PWM yang digunakan yaitu default dengan rata-rata frekuensi 500Hz dan periode 2 ms. Nilai PWM akan mengontrol *duty cycle* dari pulsa yang diberikan. *Duty cycle* merupakan perbandingan waktu pulsa on dan periode dari pulsa. Hubungan antara nilai ADC dan kecepatan putar kolektor ditunjukkan seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara nilai ADC dan kecepatan rotasi kolektor

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.7 ditunjukkan bahwa linieritas antara nilai ADC dan kecepatan putar kolektor bagus, nilai R^2 mencapai 0.98066. Hasil ini dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan *mapping* pada koding arduino dalam menentukan kecepatan putar kolektor pada nilai ADC tertentu.

Setelah dilakukan perbaikan koding di dalam arduino. Perbaikan koding ini meliputi proses *mapping* kecepatan putar kolektor. Kecepatan putar kolektor hasil *mapping* merupakan kecepatan referensi kolektor. Lalu dilakukan pengukuran ulang kecepatan putar referensi dan pengukuran dari kolektor. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh hubungan antara kecepatan putar kolektor referensi dan pengukuran seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara kecepatan putar kolektor referensi dan pengukuran

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kecepatan putar kolektor antara hasil kecepatan referensi dan pengukuran hampir sama. Hal ini ditunjukkan hasil dari regresi linier mencapai 0.982. Nilai tersebut sudah bagus dan mendekati nilai yang diharapkan.

4.7 Kalibrasi

Dalam perancangan suatu alat perlu dilakukan kalibrasi untuk mengetahui bagaimana keakuratan dari alat tersebut. Pada pembuatan alat ini dilakukan kalibrasi terhadap jarak tempuh dan kecepatan jarum *spinneret*, serta kecepatan putar kolektor. Berikut ini contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai *error* dan keakuratan pada jarak pengukuran 5 cm. Perhitungan *error* menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran dari nilai 10 kali pengukuran.

$$\text{error} = \left| \frac{\text{perhitungan} - \text{pengukuran}}{\text{perhitungan}} \right| \times 100\%$$

$$\text{error} = \left| \frac{5 - 4.9}{5} \right| \times 100\% = 2\%$$

$$\text{keakuratan} = 100\% - \text{error} = 100\% - 2\% = 98\%$$

Untuk pengukuran jarak yang lain diperoleh nilai *error* dan keakuratan seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil kalibrasi jarak gerak jarum *spinneret*

Sreferensi (cm)	Spengukuran (cm)	Error (%)	keakuratan (%)
1	1.1	8	92.0
5	4.9	2	98.0
10	10.1	1.6	98.4
15	14.8	1.5	98.5
20	19.9	0.4	99.6
Rata-rata		2.7	97.3

Berdasarkan hasil kalibrasi pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa keakuratan jarak getak jarum *spinneret* mencapai 97.3%.

Tabel 4.5 Hasil kalibrasi kecepatan gerak jarum *spinneret*

$V_{\text{referensi}}$ (cm/s)	$V_{\text{pengukuran}}$ (cm/s)	error (%)	keakuratan (%)
0.1	0.33	234.05	
0.3	0.30	0.75	99.25
0.5	0.49	1.26	98.74
0.7	0.70	0.36	99.64
0.9	0.94	4.04	95.96
1.1	1.10	0.05	99.95
Rata-rata		1.29	98.71

Tabel 4.5 menunjukkan hasil error dan keakuratan dari kecepatan gerak jarum *spinneret*. Diperoleh nilai keakuratan dari kecepatan gerak jarum *spinneret* mencapai 98.71%.

Tabel 4.6 Hasil kalibrasi kecepatan putar kolektor

$\omega_{\text{referensi}}$ (cm/s)	$\omega_{\text{pengukuran}}$ (cm/s)	error (%)	keakuratan (%)
245.8	251.2	2.20	97.80
283	299.9	5.97	94.03
343.5	380.05	10.64	89.36
390	425.8	9.18	90.82
438.7	449.78	2.53	97.47
481	472.98	1.67	98.33
500	509.62	1.92	98.08
530.4	529.35	0.20	99.80
568.8	573.63	0.85	99.15
593.8	618.3	4.13	95.87
Rata-rata		3.93	96.07

Tabel 4.6 menunjukkan hasil error dan keakuratan dari kecepatan putar kolektor. Diperoleh nilai keakuratan dari kecepatan putar kolektor mencapai 96.07%. Berdasarkan nilai

keakuratan dari kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret* serta kecepatan putar kolektor pada Tabel 4.4, 4.5, dan 4.6 menunjukkan tingkat keakuratan yang sudah bagus dan sesuai dengan yang diinginkan.

4.8 Presisi

Dilakukan uji presisi untuk mengetahui keseksamaan dan ketaktentuan dari hasil pengukuran. Tabel 4.7 menunjukkan contoh perhitungan presisi jarak gerak jarum *spinneret*.

Tabel 4.7 Perhitungan presisi

s (cm)	\bar{s} (cm)	$(s - \bar{s})$ (cm)	$(s - \bar{s})^2$	$\sum (s - \bar{s})^2$
1.1	1.08	0.02	0.0004	0.016
1		-0.08	0.0064	
1		-0.08	0.0064	
1.1		0.02	0.0004	
1.1		0.02	0.0004	
1.1		0.02	0.0004	
1.1		0.02	0.0004	
1.1		0.02	0.0004	
1.1		0.02	0.0004	
1.1		0.02	0.0004	

Kemudian dilakukan perhitungan presisi dan ketaktentuan dari pengulangan data tersebut.

a. Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n \times (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0.016}{10 \times (10 - 1)}} = 0.0133$$

b. Ralat Nisbi

$$I = \frac{\Delta}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{0.0133}{1.08} \times 100\% = 1.23\%$$

c. Keseksamaan

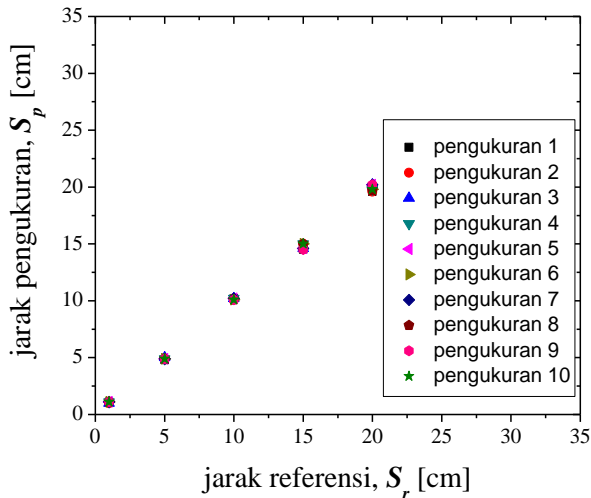
$$K = 100\% - I = 100\% - 1.23\% = 98.77\%$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti pada contoh perhitungan di atas maka diperoleh nilai presisi pengukuran jarak dan kecepatan gerak jarum *spinneret* seperti pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil presisi jarak gerak jarum *spinneret*

$S_{\text{referensi}}$ (cm/s)	$S_{\text{pengukuran}}$ (cm/s)	presisi (%)
1	1.1	98.77
5	4.9	99.70
10	10.1	99.84
15	14.8	99.50
20	19.9	99.59
Rata-rata		99.48

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari pengukuran, dapat dibuat grafik yang menunjukkan tingkat kepresisian dari pengulangan dalam pengukuran jarak gerak jarum *spinneret* yang telah dilakukan.



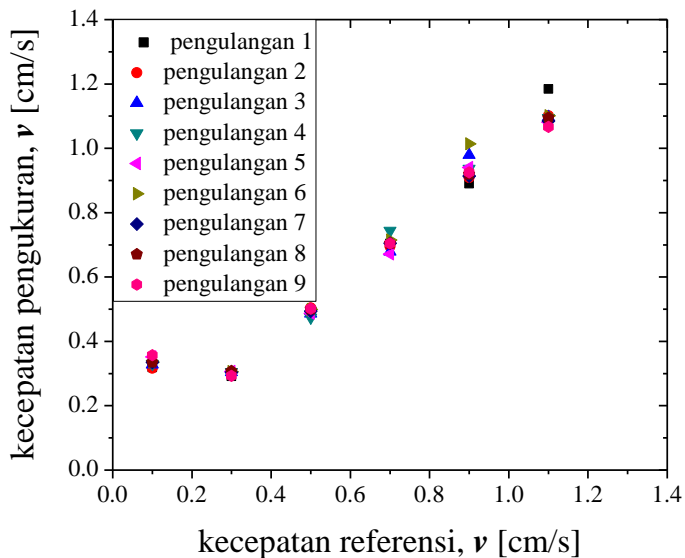
Gambar 4.9 Grafik presisi jarak gerak jarum *spinneret*

Tabel 4.9 menunjukkan hasil perhitungan presisi kecepatan gerak jarum *spinneret*.

Tabel 4.9 Hasil presisi kecepatan gerak jarum *spinneret*

$V_{\text{referensi}} \text{ (cm/s)}$	$V_{\text{pengukuran}} \text{ (cm/s)}$	presisi (%)
0.1	0.33	99.32
0.3	0.30	99.19
0.5	0.49	99.22
0.7	0.70	98.91
0.9	0.93	99.0
1.1	1.10	99.36
Rata-rata		99.17

Gambar 4.10 merupakan grafik yang menggambarkan kepresisian pengukuran jarak gerak jarum *spinneret*.



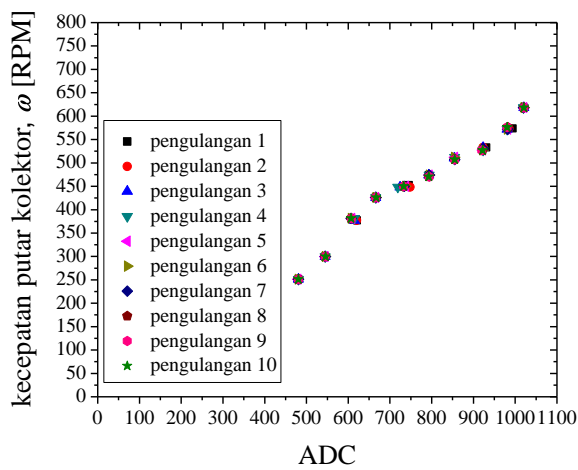
Gambar 4.10 Grafik presisi kecepatan gerak jarum *spinneret*

Tabel 4.10 menunjukkan hasil perhitungan presisi kecepatan putar kolektor.

Tabel 4.10 Hasil presisi kecepatan putar kolektor

$V_{\text{referensi}}$ (RPM)	$v_{\text{pengukuran}}$ (RPM)	Presisi (%)
245.8	251.2	100
283	299.9	100
343.5	380.05	99.82
390	425.8	100
438.7	449.78	99.91
481	472.98	99.89
500	509.62	99.86
530.4	529.35	99.83
568.8	573.63	99.89
593.8	618.3	100
Rata-rata		99.92

Gambar 4.11 merupakan grafik yang menunjukkan tingkat kepresisian dari pengukuran kecepatan putar kolektor.

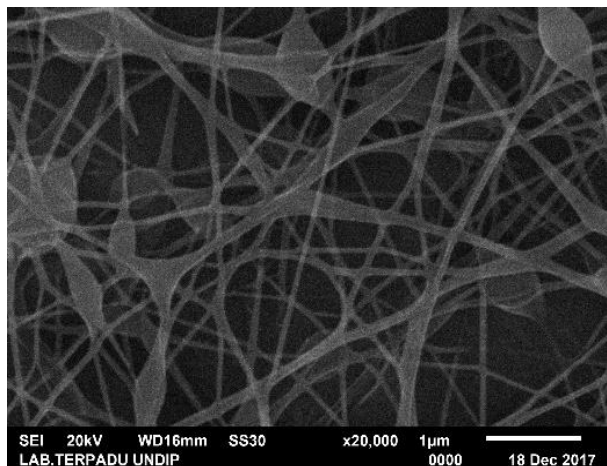


Gambar 4.11 Grafik presisi kecepatan putar kolektor

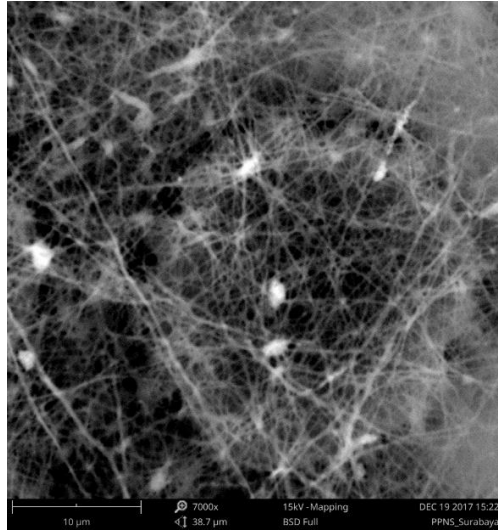
Berdasarkan pada Tabel 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kepresisian dari pengukuran kecepatan dan jarak gerak jarum *spinneret* serta kecepatan putar kolektor menunjukkan nilai yang bagus yaitu hamper mendekati 100%. Kepresisian tersebut juga digambarkan dari grafik pada Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa pada setiap pengulangan yang dilakukan pada setiap variasi menunjukkan nilai yang hamper tepat sama. Semakin terkumpulnya hasil pengulangan pengukuran pada satu titik maka menunjukkan bahwa kepresisian semakin baik.

4.9 Hasil Polimer Fiber

Alat *electrospinning* yang telah dibuat digunakan untuk pembuatan polimer fiber. Dari percobaan yang telah dilakukan diperoleh polimer fiber seperti pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4. 12 Polimer fiber hasil *electrospinning* dengan HV 10kV, konsentrasi 5%, dan jarak jarum *spinneret* ke kolektor 10 cm (perbesaran 20000 kali)



Gambar 4. 13 Polimer fiber hasil *electrospinning* dengan HV 10kV, konsentrasi 10%, dan jarak jarum *spinneret* ke kolektor 10 cm (perbesaran 20000 kali)

Berdasarkan hasil uji sem yang telah dilakukan diperoleh hasil rata-rata nilai diameter polimer fiber yang dihasilkan berturut-turut dari Gambar 12 dan 13 yaitu 43.3 nm dan 119.7 nm. Fabrikasi nanofiber dilakukan dengan *volumetric flowrate* 1 $\mu\text{L}/\text{hour}$, jarum *spinneret* diam, dan kecepatan rotasi kolektor 243 rpm. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa alat *electrospinning* yang telah dirancang dapat digunakan untuk fabrikasi polimer fiber hingga berukuran nanometer.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Sistem pengontrol gerak kolektor dibuat dari motor DC 12V dengan *driver* IC L293D. Kontrol kecepatan kolektor dilakukan dengan menggunakan prinsip *Pulse Width Modulation*. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Promini.
2. Sistem pengontrol gerak jarum *spinneret* dibuat dengan menggunakan motor *stepper hybrid* jenis 42H47HM-0504A-18 dan *driver* A4988. Pulsa masukan untuk mengatur kecepatan dan jarak yang diinginkan dengan menggunakan *push button*. Perangkat *hardware* dijadikan satu sistem dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Promini.
3. Electrospinning yang dikontrol dapat digunakan untuk fabrikasi polimer fiber dengan ukuran diameter skala nanometer.

5.2 Saran

1. Diperlukan kalibrator jarak dan kecepatan gerak jarum *spinneret* yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana pengaruh besarnya kecepatan kolektor dan jarum *spinneret* terhadap diameter dan sebaran dari *nanofiber*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, IGAP Raka, S. Huda, and IW Arta Wijaya. 2014. "Speed Control for DC Motor with Pulse Width Modulation (PWM) Method Using Infrared Remote Control Based on ATmega16 Microcontroller." In *Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), 2014 International Conference On*, 108–112. IEEE. <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7038740/>.
- LIPI. 2014. "Nanoteknologi: Teknologi Masa Depan | Pusat Inovasi LIPI." August 8, 2014. <http://www.inovasi.lipi.go.id/id/berita/nanoteknologi-teknologi-masa-depan>.
- Hung, P. H., W. C. Lin, W. R. Huang, M. Ebara, and I. T. Yeh. 2017. "Development and Fabrication of Imiquimod Nanofiber Mesh for Melanoma Treatment." In *2017 IEEE 12th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)*, 202–5. <https://doi.org/10.1109/NEMS.2017.8017006>.
- Indahwati, Elly, and Kuwat Triyana. 2016. "Fabrikasi Nanofiber Gelatin dengan Metode *Electrospinning* dan Efek Penambahan *Ethylene Glycol* pada Morfologinya." *Jurnal Rekayasa Keteknikan Dan Optimasi* 1 (1). <http://ejournal.unhasy.ac.id/index.php/reaktom/article/view/52>.
- Iswandi, Puji. 2014. "Motor DC Series, Karakteristik, dan Rank Ekuivalennya". Politeknik Negeri Batam
- Kukla, Mateusz, Paweł Tarkowski, Ireneusz Malujda, Krzysztof Talaśka, and Jan Górecki. 2016. "Determination of the Torque Characteristics of a *Stepper Motor*." *Procedia Engineering* 136:375–379.
- Li, Linlin, Shengjie Peng, Jeremy Kong Yoong Lee, Dongxiao Ji, Madhavi Srinivasan, and Seeram Ramakrishna. 2017. "Electrospun Hollow Nanofibers for Advanced Secondary Batteries." *Nano Energy* 39 (Supplement

- C):111–39. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.06.050>.
- Li, Y., and W. Wan. 2017. “Exploring Polymer *Nanofiber* Mechanics: A Review of the Methods for Determining Their Properties.” *IEEE Nanotechnology Magazine* 11 (3):16–28.
<https://doi.org/10.1109/MNANO.2017.2708819>.
- Makaran, John E. 2010. “Gate Charge Control for MOSFET Turn-off in PWM Motor Drives through Empirical Means.” *IEEE Transactions on Power Electronics* 25 (5):1339–1350.
- Patil, Jyoti V., Sawanta S. Mali, Archana S. Kamble, Chang K. Hong, Jin H. Kim, and Pramod S. Patil. 2017. “Electrospinning: A Versatile Technique for Making of 1D Growth of Nanostructured *Nanofibers* and Its Applications: An Experimental Approach.” *Applied Surface Science*.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433217317725>.
- Wahyudi, Tatang, and Doni Sugiyana. 2011. “Pembuatan Serat Nano Menggunakan Metode Electrospinning.” *Arena Tekstil* 26 (1).
<http://ejournal.kemenperin.go.id/jiat/article/download/1439/1213>.
- Wei, Jin, Jianyi Zheng, Gaofeng Zheng, Xiang Wang, Guangqi He, Haiyan Liu, Daoheng Sun, and Juan Liu. 2013. “Pattern Stretchable Micro-Nano Thin Film via Electrohydrodynamic Direct-Writing.” In *Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO), 2013 International Conference On*, 55–59. IEEE.
- Zheng, Gaofeng, Yinhong Dai, Lingyun Wang, and Daoheng Sun. 2007. “Direct-Write Micro/Nano-Structure for Flexible Electronic Manufacturing.” In *Nanotechnology, 2007. IEEE-NANO 2007. 7th IEEE Conference On*, 791–794. IEEE.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Percobaan

Tabel 1. Data kalibrasi motor *stepper*

<i>referensi</i>		<i>Pengukuran (cm)</i>						
<i>S</i>	<i>step</i>	<i>s₁</i>	<i>s₂</i>	<i>s₃</i>	<i>s₄</i>	<i>s₅</i>	\bar{s}	<i>step</i>
1	111	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	100.91
5	555	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	108.82
10	1110	10.2	10.1	10.1	10.2	10.2	10.16	109.25
15	1665	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	109.54
20	2220	20.8	20.8	20.9	20.8	20.9	20.84	106.53
\overline{step}								107.01

Tabel 2. Data kalibrasi jarak jarum *spinneret*

<i>S_{referensi} (cm)</i>		1	5	10	15	20
<i>Pengukuran</i>	1	1.1	4.8	10.2	14.6	19.6
	2	1	4.9	10.2	15	19.6
	3	1	5	10.2	14.6	20.2
	4	1.1	4.9	10.2	15	19.8
	5	1.1	4.9	10.2	14.6	20.2
	6	1.1	4.9	10.1	15	19.8
	7	1.1	4.9	10.2	14.6	20.2
	8	1.1	4.9	10.1	15	19.7
	9	1.1	4.9	10.1	14.6	20.2
	10	1.1	4.9	10.1	15	19.8
	\bar{s}	1.08	4.9	10.16	14.78	19.91

Tabel 3. Data kalibrasi kecepatan jarum *spinneret* saat $v=0.1$ cm/s

s_{ref}	10			5			1			
	s (cm)	$t(s)$	$v(cm/s)$	$s(cm)$	$t(s)$	$v(cm/s)$	$s(cm)$	$t(s)$	$v(cm/s)$	\bar{v}
1	9.7	30	0.32	4.85	15.18	0.32	1.1	3.5	0.31	0.32
2	9.7	30.6	0.32	4.85	14.89	0.33	1	3.27	0.31	0.32
3	9.7	29.8	0.33	4.85	15.06	0.32	1	2.98	0.34	0.33
4	9.7	30.1	0.32	4.85	15.22	0.32	1.1	3.15	0.35	0.33
5	9.6	30	0.32	4.85	15	0.32	1.1	2.67	0.41	0.35
6	9.7	30.1	0.32	4.85	15.1	0.32	1.1	3.03	0.36	0.34
7	9.7	30.2	0.32	4.85	15.04	0.32	1.1	3.04	0.36	0.34
8	9.7	30.3	0.32	4.85	15.23	0.32	1.1	3.01	0.37	0.33
9	9.7	30.4	0.32	4.85	15	0.32	1.1	2.57	0.43	0.36
$\bar{v}(cm/s)$										0.33

Tabel 4. Data kalibrasi kecepatan jarum *spinneret* saat $v=0.3$ cm/s

s_{ref}	10			5			1			
	s (cm)	$t(s)$	$v(cm/s)$	$s(cm)$	$t(s)$	$v(cm/s)$	$s(cm)$	$t(s)$	$v(cm/s)$	\bar{v}
1	9.75	30	0.32	4.85	15.18	0.32	1.1	3.5	0.31	0.32
2	9.75	30.6	0.32	4.85	14.89	0.33	1	3.27	0.31	0.32
3	9.75	29.8	0.33	4.85	15.06	0.32	1	2.98	0.34	0.33
4	9.75	30.1	0.32	4.85	15.22	0.32	1.1	3.15	0.35	0.33
5	9.75	30	0.32	4.85	15	0.32	1.1	2.67	0.41	0.35
6	9.75	30.1	0.32	4.85	15.1	0.32	1.1	3.03	0.36	0.34

7	9.75	30.2	0.32	4.85	15.04	0.32	1.1	3.04	0.36	0.34
8	9.75	30.3	0.32	4.85	15.23	0.32	1.1	3.01	0.37	0.33
9	9.75	30.4	0.32	4.85	15	0.32	1.1	2.57	0.43	0.36
$\bar{v}(\text{cm/s})$										0.3

Tabel 5. Data kalibrasi kecepatan jarum *spinneret* saat $v=0.5$ cm/s

s_{ref}	10			5			1			
	s (cm)	$t(s)$	$v(\text{cm/s})$	$s(\text{cm})$	$t(s)$	$v(\text{cm/s})$	$s(\text{cm})$	$t(s)$	$v(\text{cm/s})$	\bar{v}
1	10.2	19.9	0.51	4.9	10.08	0.49	1	2.04	0.49	0.5
2	10.2	19.2	0.53	4.9	10.13	0.48	1	2.01	0.5	0.5
3	10.2	20.7	0.49	4.9	10.22	0.48	1	2.06	0.49	0.49
4	10.2	20.1	0.51	4.9	10.06	0.49	1.05	2.46	0.43	0.47
5	10.2	20.2	0.51	4.9	10.21	0.48	1.05	2.21	0.48	0.49
6	10.2	20	0.51	4.9	10.04	0.49	1.05	2.1	0.5	0.5
7	10.2	20.4	0.5	4.9	10.12	0.48	1.05	2.11	0.5	0.49
8	10.2	20.1	0.51	4.9	10.15	0.48	1.05	2.06	0.51	0.5
9	10.2	20.3	0.5	4.9	10.21	0.48	1.05	2.01	0.52	0.5
$\bar{v}(\text{cm/s})$										0.49

Tabel 6. Data kalibrasi kecepatan jarum *spinneret* saat $v=0.7$ cm/s

s_{ref}	10			5			1			
	s (cm)	$t(s)$	$v(\text{cm/s})$	$s(\text{cm})$	$t(s)$	$v(\text{cm/s})$	$s(\text{cm})$	$t(s)$	$v(\text{cm/s})$	\bar{v}
1	9.7	14.3	0.68	5.1	7.18	0.71	1.05	1.45	0.72	0.7
2	9.7	14.4	0.67	5.1	7.2	0.71	1.05	1.49	0.7	0.69

[illegible]

Tabel 7. Data kalibrasi kecepatan jarum *spinneret* saat $v=0.9$ cm/s

[illegible]

Lampiran 2. Perhitungan Ketidakpastian pengukuran kecepatan jarum *spinneret*.

Ketidakpastian Pengukuran

Dikatakan v merupakan fungsi s dan t [$v = v(s,t)$]. Menurut Kalkulus, untuk $v = v(s,t)$ berlaku :

$$dv = \frac{\partial v}{\partial s} ds + \frac{\partial v}{\partial t} dt$$

Dalam perhitungan ralat diperoleh :

$$\Delta v = \frac{\partial v}{\partial s} \Delta s + \frac{\partial v}{\partial t} \Delta t$$

Pada pengukuran ini digunakan rumus :

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\frac{\partial v}{\partial s} = \frac{1}{t}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{s}{t^2}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta s}{t} - \frac{s}{t^2} \Delta t$$

Berikut ini contoh perhitungan dalam menentukan nilai ketidakpastian pengukuran kecepatan jarum *spinneret* dengan jarak gerak 10 cm dan kecepatan 0.3 cm.

Tabel 9. Data Pengukuran jarak dan waktu pada jarak 10 cm dan kecepatan 0.3 cm

$s(\text{cm})$	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75
$t(\text{s})$	33.84	33.71	33.64	33.66	33.75	33.61	33.65	33.72	33.68

Maka, nilai ketidakpastian pengukuran kecepatan jarum *spinneret* dapat dihitung dengan sebagai berikut ini.

Tabel 10. Hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran jarak

$s(\text{cm})$	$\bar{s} \text{ (cm)}$	$\frac{(s-\bar{s})}{\bar{s}} \text{ (cm)}$	$\frac{(s-\bar{s})}{\bar{s}})^2(\text{cm}^2)$	$\sum (s - \bar{s})^2 (\text{cm}^2)$	$\Delta s \text{ (cm)}$
9.75	9.75	0	0	0	0
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		
9.75		0	0		

Tabel 11. Hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran waktu

$t(\text{s})$	$\bar{t} \text{ (s)}$	$(t - \bar{t}) \text{ (s)}$	$\frac{(t - \bar{t})}{\bar{t}})^2(\text{cm}^2)$	$\sum (t - \bar{t})^2 \text{ (s}^2)$	$\Delta t \text{ (s)}$
33.84	33.69556	0.144444	0.020864	0.038622	0.023161
33.71		0.014444	0.000209		
33.64		-0.05556	0.003086		
33.66		-0.03556	0.001264		
33.75		0.054444	0.002964		
33.61		-0.08556	0.00732		

33.65		-0.04556	0.002075		
33.72		0.024444	0.000598		
33.68		-0.01556	0.000242		

Dari perhitungan ketidakpastian pengukuran jarak dan waktu gerak jarum *spinneret* diperoleh nilai ketidakpastian pengukuran sebagai berikut ini.

Tabel 12. Hasil perhitungan jarak dan waktu gerak jarum *spinneret* pada jarak referensi 10 cm

$v \text{ (cm/s)}$	$\bar{s} \text{ (cm)}$	$\Delta s \text{ (cm)}$	$\bar{t} \text{ (cm)}$	$\Delta t \text{ (s)}$
0.1	9.688889	0.009938	30.17944	0.071781
0.3	9.75	0	33.69556	0.023161
0.5	10.2	0	20.07667	0.133853
0.7	9.7	0	14.39556	0.036137
0.9	9.7	0	11.22444	0.019011
1.1	9.7	0	9.157778	0.02999

Tabel 13. Hasil perhitungan jarak dan waktu gerak jarum *spinneret* pada jarak referensi 5 cm

$v \text{ (cm/s)}$	$\bar{s} \text{ (cm)}$	$\Delta s \text{ (cm)}$	$\bar{t} \text{ (cm)}$	$\Delta t \text{ (s)}$
0.1	4.85	0	15.08	0.033895
0.3	4.9	0	16.83	0.030596
0.5	4.9	0	10.14	0.022553
0.7	5.1	0	7.22	0.013229
0.9	4.9	0	5.57	0.031407
1.1	4.92	0.012108	4.6	0.02712

Tabel 14. Hasil perhitungan jarak dan waktu gerak jarum *spinneret* pada

jarak referensi 1 cm

$v \text{ (cm/s)}$	$\bar{s} \text{ (cm)}$	$\Delta s \text{ (cm)}$	$\bar{t} \text{ (cm)}$	$\Delta t \text{ (s)}$
0.1	1.077778	0.013147	3.02	0.084118
0.3	1.1	0	3.381111	0.067935
0.5	1.033333	0.008333	2.117778	0.047428
0.7	1.05	0	1.452222	0.040062
0.9	1.088889	0.011111	1.03	0.029721
1.1	1.066667	0.008333	0.913333	0.017873

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran jarak dan waktu gerak jarum *spinneret* digunakan untuk menghitung ketidakpastian pengukuran kecepatan jarum *spinneret*.

$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{\bar{t}} = \frac{9.75}{33.69556} = 0.289 \text{ cm/s}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta s}{\bar{t}} - \frac{s}{\bar{t}^2} \Delta t = \frac{0}{33.69556} - \frac{9.75}{(33.69556)^2} \times 0.023161 = 0.000199$$

Dari kecepatan dan ralat mutlak pada jarak 10 cm, 5 cm, dan 1 cm dirata-rata dan hasilnya digunakan dalam perhitungan presisi. Berikut ini contoh perhitungan ralat nisbi dan presisi.

$$I = \frac{\Delta v}{\bar{v}} \times 100\% = \frac{0.0024}{0.3} \times 100\% = 0.8\%$$

$$K = 100\% - I = 100\% - 0.8\% = 99.2\%$$

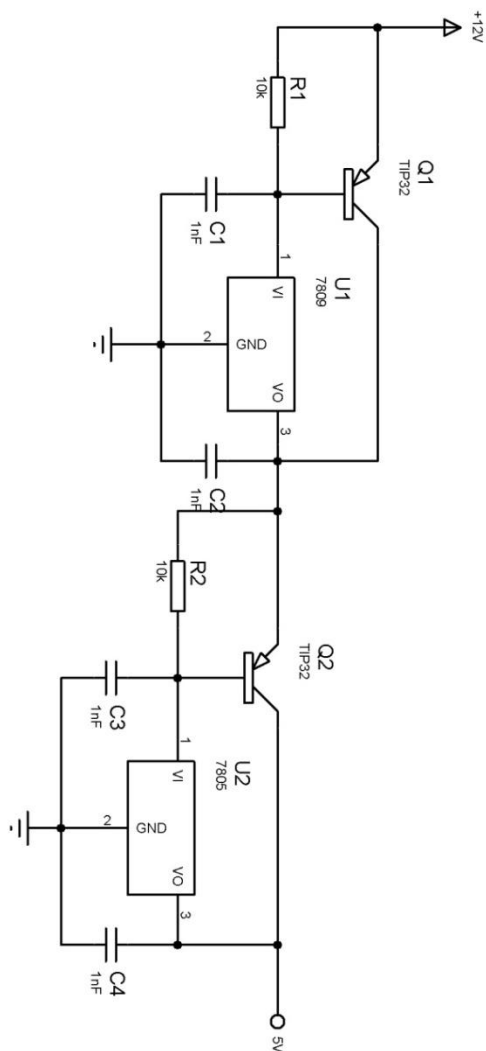
Berikut ini tabel hasil perhitungan presisi dan ketidaktentuan pengukuran kecepatan jarum *spinneret*.

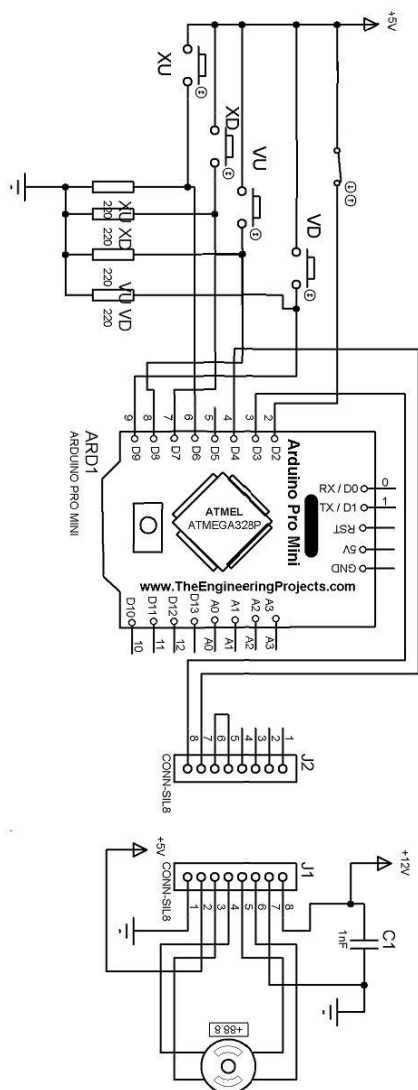
Tabel 15. Hasil perhitungan ketidaktentuan dan presisi dari kecepatan

jarum spinneret

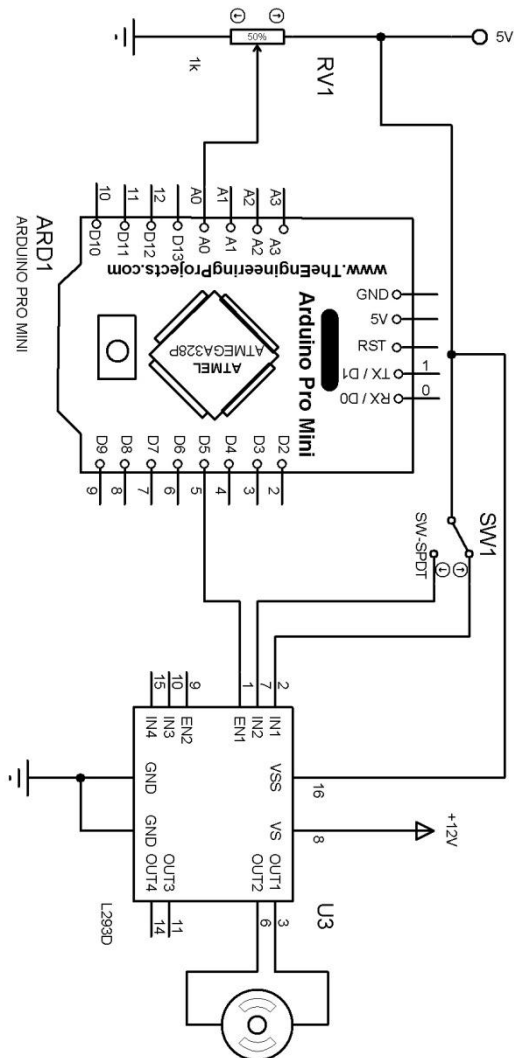
v (cm/s)	\overline{v}_{10} (cm/s)	\overline{v}_5 (c m/s)	\overline{v}_1 (c m/s)	Δv_{10} (cm/s)	Δv_5 (cm/s)	Δv_1 (cm/s)	\overline{v} (cm /s)	$\overline{\Delta v}$ (cm/s)	Presisi (%)
0.1	0.321	0.322	0.357	0.000	0.001	0.006	0.333	0.002	99.325
0.3	0.289	0.291	0.325	0.000	0.001	0.007	0.302	0.002	99.198
0.5	0.508	0.483	0.488	0.003	0.001	0.007	0.493	0.004	99.226
0.7	0.674	0.706	0.723	0.002	0.001	0.020	0.701	0.008	98.910
0.9	0.864	0.880	1.057	0.001	0.005	0.020	0.934	0.009	99.067
1.1	1.059	1.070	1.168	0.003	0.004	0.014	1.099	0.007	99.367

Lampiran 3. Skema Rangkaian Sistem Pengontrol

**Gambar 1.** Skema rangkaian sistem penurun tegangan



Gambar 2. Skema rangkaian sistem kontrol jarum *spinneret*



Gambar 3. Skema rangkaian sistem kontrol kolektor

Lampiran 4. Koding Pemrograman Sistem

```
//load libraries
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LCD.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
//Define variables
```

```
#define I2C_ADDR      0x27    //Define I2C Address where the  
PCF8574A is
```

```
#define BACKLIGHT_PIN  3
```

```
#define En_pin         2
```

```
#define Rw_pin         1
```

```
#define Rs_pin         0
```

```
#define D4_pin         4
```

```
#define D5_pin         5
```

```
#define D6_pin         6
```

```
#define D7_pin         7
```

```
int DATAQ=226;
```

```
//Initialise the LCD
```

```
LiquidCrystal_I2C  lcd(I2C_ADDR,  
En_pin,Rw_pin,Rs_pin,D4_pin,D5_pin,D6_pin,D7_pin);
```

```
const int stepPin = 4;
```

```
const int dirPin = 3;
```

```
const int stepupPin = 6;
```

```
const int stepdownPin = 7;
```

```
const int panjangupPin = 8;
```

```
const int panjangdownPin = 9;
```

```
const int startPin = 2;
```

```
const int DCPin = 5;
```

```
int vup = 1;
```

```
int lastvup = 0;
```

```
int vdown = 1;
```

```
int lastvdown = 0;
```

```
int xup = 1;
```

```
int lastxup = 0;
```

```
int xdown = 1;
```

```
int lastxdown = 0;
```

```
int kec=10000;
```

```
int panjang = 1000;
```

```
int sensorValue;
```

```
float vel;
```

```
int RPM;
```

```
void setup(){
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(stepPin,OUTPUT);
```

```
  pinMode(dirPin,OUTPUT);
```

```
  pinMode(stepupPin, INPUT);
```

```
  pinMode(stepdownPin, INPUT);
```

```
  pinMode(panjangupPin, INPUT);
```

```
  pinMode(panjangdownPin, INPUT);
```

```
  pinMode(startPin, INPUT);
```

```
  pinMode(DCPin,OUTPUT);
```

```
  //Define the LCD as 16 column by 2 rows
```

```
lcd.begin (20,4);

//Switch on the backlight

lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN,POSITIVE);

lcd.setBacklight(HIGH);

//interrupt DC, pin 5

////attachInterrupt(0, rpm_fan, FALLING);

lcd.print ("----Setting!----");

delay (2000);

lcd.setCursor (0,0);

lcd.print ("RPM=");

lcd.setCursor(12,0);

lcd.print("|X=");

lcd.setCursor (18,0);

lcd.print ("CM=");

lcd.setCursor (0,1);

lcd.print ("Kec=");

lcd.setCursor(7,1);

lcd.print("CM/S");

lcd.setCursor (12,1);
```

```
lcd.print ("|t=");  
  
lcd.setCursor (17,1);  
  
lcd.print ("JAM");  
  
lcd.setCursor (0,2);  
  
lcd.print ("FR =");  
  
lcd.setCursor (7,2);  
  
lcd.print ("uL/H");  
  
lcd.setCursor (12,2);  
  
lcd.print ("|V=");  
  
lcd.setCursor (18,2);  
  
lcd.print ("uL");  
  
lcd.setCursor (0,3);  
  
lcd.print ("HV =");  
  
lcd.setCursor (9,3);  
  
lcd.print ("kV");  
  
lcd.clear ();  
  
}
```

```
void loop(){
```



```
///RPM
```

```
sensorValue = analogRead(A0);
```

```
rotasikolektor();
```

```
//DCkecepatan
```

```
// baca potensiometer:
```

```
int sensorValue = analogRead(A0);
```

```
// map nilai sensor menjadi 0 - 255:
```

```
int outputValue = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 255);
```

```
// gunakan nilai tersebut utk mengontrol putaran:
```

```
//stepper motor calculation
```

```
//atur kecepatan stepper
```

```
vup = digitalRead(stepupPin);
```

```
if (vup!=lastvup && vup==HIGH){
```

```
    vel = vel+0.1;
```

```
    if (vel>=1){
```

```
        vel=1;
```

```
    }
```

```
}
```

```
lastvup = vup;
```

```
vdown = digitalRead(stepdownPin);
```

```
if (vdown!=lastvdown && vdown==HIGH){
```

```
    vel = vel-0.1;
```

```
    if (vel<=0.1){
```

```
        vel=0.1;
```

```
    }
```

```
}
```

```
lastvdown = vdown;
```

```
kec = 0.0045*1000000/vel;
```

```
xup = digitalRead(panjangupPin);
```

```
if (xup!=lastxup && xup==HIGH){
```

```
    panjang = panjang+111;
```

```
    if (panjang>=2776){
```

```
        panjang=2776;
```

```
    }
```

```

}

lastxup = xup;

xdown = digitalRead(panjangdownPin);

if (xdown!=lastxdown && xdown==HIGH){

    panjang = panjang-111;

    if (panjang<=0){

        panjang=0;

    }

}

lastxdown = xdown;

float jarak = 0.009*panjang;

if (millis() % 10 == 0){

    lcd.setCursor(4,1); lcd.print(RPM, 1);

    lcd.setCursor(4,1); lcd.print(vel, 1);

    lcd.setCursor (15,0);lcd.print(jarak, 0);

    //lcd.setCursor (4,2);lcd.print(flowrate, 1);

    //lcd.setCursor (15,2);lcd.print(volume, 0);

    //lcd.setCursor (4,3);lcd.print(hv, 1);

```

```

//lcd.setCursor (15,1);lcd.print(waktu, 1);}

}

//pengaturan stepper

int start = digitalRead(startPin);

if (start == HIGH){

    digitalWrite(dirPin,HIGH); // Enables the motor to move in a
particular direction

    for(int x = 0; x < panjang; x++) {

        digitalWrite(stepPin,HIGH);

        delayMicroseconds(kec);

        digitalWrite(stepPin,LOW);

        delayMicroseconds(kec);

    }

    digitalWrite(dirPin,LOW); //Changes the rotations direction

    for(int x = 0; x < panjang; x++) {

        digitalWrite(stepPin,HIGH);

        delayMicroseconds(kec);

        digitalWrite(stepPin,LOW);

        delayMicroseconds(kec);

    }
}

```

```

    }

    //delay(1000);

    Serial.print (jarak); Serial.println (" cm");

    Serial.print (vel); Serial.println (" cm/s");

    Serial.print (RPM); Serial.println (" rpm");

    Serial.print(panjang);

    Serial.print (" ");

    Serial.print(RPM);

    Serial.print (" ");

    Serial.print(kec);

    Serial.println (" ");

    delay (300);


    lcd.setCursor (0,0);

    lcd.print ("RPM=");

    lcd.setCursor(12,0);

    lcd.print("|X=");

    lcd.setCursor (18,0);

    lcd.print ("CM=");

```

```
lcd.setCursor (0,1);  
lcd.print ("Kec=");  
lcd.setCursor(7,1);  
lcd.print("CM/S");  
lcd.setCursor (12,1);  
lcd.print ("|t=");  
lcd.setCursor (17,1);  
lcd.print ("JAM");  
lcd.setCursor (0,2);  
lcd.print ("FR =");  
lcd.setCursor (7,2);  
lcd.print ("uL/H");  
lcd.setCursor (12,2);  
lcd.print ("|V=");  
lcd.setCursor (18,2);  
lcd.print ("uL");  
lcd.setCursor (0,3);  
lcd.print ("HV =");  
lcd.setCursor (9,3);  
lcd.print ("kV");
```

```

}

void rotasikolektor(){

    if (sensorValue>=431 && sensorValue<=432){

        RPM = 131;

    }

    if (sensorValue>=433 && sensorValue<=475){

        RPM = map(sensorValue, 433, 475, 131, 243);

    }

    if (sensorValue>=476 && sensorValue<=581){

        RPM = map(sensorValue, 476, 581, 243, 320);

    }

    if (sensorValue>=582 && sensorValue<=684){

        RPM = map(sensorValue, 582, 684, 320, 405);

    }

    if (sensorValue>=685 && sensorValue<=791){

        RPM = map(sensorValue, 685, 791, 405, 481);

    }

    if (sensorValue>=792 && sensorValue<=896){

        RPM = map(sensorValue, 792, 896, 481, 514);

    }

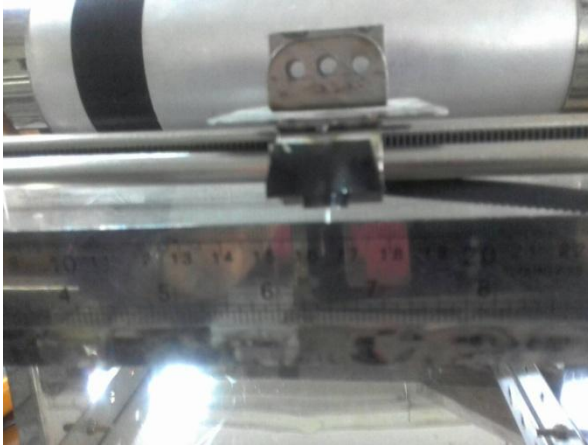
```

```
if (sensorValue>=897 && sensorValue<=1021){  
    RPM = map(sensorValue, 897, 1010, 514, 587);  
}  
if (sensorValue>=1022 && sensorValue<=1023){  
    RPM = (587);  
}  
}
```


Lampiran 5. Perhitungan diameter polimer fiber

Tabel 16. Perhitungan diameter fiber

<i>Titik</i>	<i>Diameter (μm)</i>		
	<i>Gambar 4.12</i>	<i>Gambar 4.13</i>	<i>Gambar 4.14</i>
1	0.038	0.031	94
2	0.048	0.037	115
3	0.04	0.041	139
4	0.03	0.067	120
5	0.038	0.034	134
6	0.04	0.02	95
7	0.045	0.041	115
8	0.057	0.048	115
9	0.063	0.03	115
10	0.066	0.051	127
11	0.026	0.063	131
12	0.042	0.034	113
13	0.042	0.044	113
14	0.032	0.045	150
Rata-rata	0.043357 μm	0.041857 μm	119.71 nm
	43.35714 nm	41.85714 nm	

Lampiran 6. Dokumentasi

Gambar 4. Pengambilan data jarak jarum *spinneret*



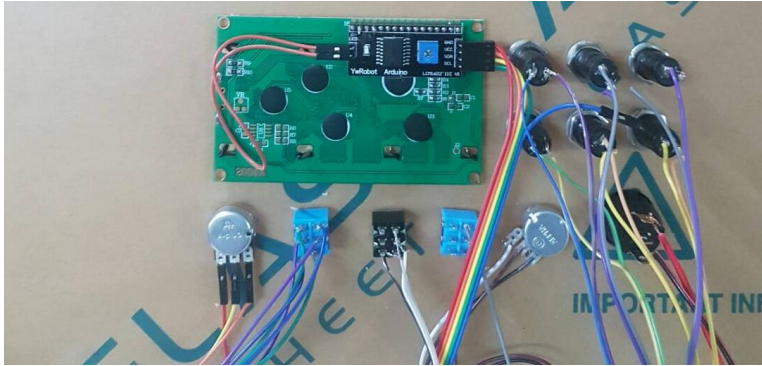
Gambar 5. Pengambilan data kecepatan putar motor tanpa kolektor



Gambar 6. Pengambilan data kecepatan putar kolektor



Gambar 7. Pengambilan datategangan pengatur PWM



Gambar 8. Tombol pengontrol tampak belakang

BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis yaitu Lutfi Fitria Ningsih, dengan nama panggilan Lutfi. Penulis dilahirkan di Blitar pada tanggal 05 September 1995. Penulis merupakan anak dari pasangan Endang Sukarti dan Suyanto, anak ketiga dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, TK Al-Hidayah lulus tahun 2002, SDN Sukosewu 02 lulus tahun 2008, SMPN 2 Gandusari lulus tahun 2011, SMAN 1 Blitar 2014. Tahun 2014 masuk ke



Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Pengalaman semasa kuliah yaitu sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar, Asisten Laboratorium Elektronika Dasar, dan Asisten Dosen Fisika Dasar. Motto hidup penulis yaitu **"percaya dan buat itu terjadi!!!"**, karena sejatinya segala hal dapat terjadi ketika diri kita mampu mempercayai akan segala cita-cita dan keinginan kita.

lutfifitria25@gmail.com